

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Obnovitelné zdroje a jejich začlenění do distribuční
soustavy**

Renewable Power Sources in Distribution Network

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Kulveit**
Studijní program: **B2649 Elektrotechnika**
Studijní obor: **3907R001 Elektroenergetika**
Téma: **Obnovitelné zdroje a jejich začlenění do distribuční soustavy.
Renewable Power Sources in Distribution Network.**
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor distribučních sítí nn a vn
2. Obnovitelné zdroje v distribuční síti – druhy, parametry, umístění .
3. Zpětné vlivy - změny napětí, flikru, ovlivnění signálu HDO, příspěvek ke zkratovým poměrům a příspěvky k úrovni harmonických proudů
4. Limity připojitelnosti.
5. Příklad výpočtu.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení, Skripta VŠB-TU Ostrava, 1990
2. Hodinka, M.: Přenos a rozvod elektrické energie, SNTL, 1989
3. Trojánek, Z.: Přejídné jevy v elektrizačních soustavách, SNTL 1987
4. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku, SNTL, 1991
5. Normy, firemní literatura, předpisy a směrnice ČEZu


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020




prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 10.5. 2020



....

podpis

Poděkování

Touto formou chci velmi poděkovat mému vedoucímu panu doc. Dr. Ing. Jiřímu Gureckému za odbornou pomoc a cenné rady při tvorbě mé bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou obnovitelných zdrojů a jejich připojení do distribuční soustavy. Na začátku je rozebrán přenos elektrické energie z místa výroby do místa spotřeby, jednotlivé hladiny napětí, které se pro přenos využívají a provozovatelé distribuční soustavy. Následně je popsán princip výroby vybraných obnovitelných zdrojů, nahlédnutí do jejich historie a uvedeny výhody, případně nevýhody. Další část bakalářské práce je věnována zpětným vlivům na elektrizační soustavu, které mohou obnovitelné zdroje svými vlastnostmi způsobovat, ať už se jedná o změny napětí, ovlivnění signálu HDO anebo flickr. Na konci teoretické části jsou popsány podmínky a limity připojitelnosti jednotlivých elektráren. V praktické části proběhl výpočet modelového vedení v napětíové hladině 22 kV. A bylo vyhodnoceno, zda je možné připojit do tohoto vedení zdroj z obnovitelné energie, aniž by došlo k překročení maximální dovolené změny napětí.

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje; přenos elektrické energie; distribuční síť; nízké napětí; vysoké napětí; větrné elektrárny; vodní elektrárny; sluneční elektrárny; biomasa; zpětné vlivy; flickr, HDO; změny napětí; limity připojitelnosti; úbytek napětí

Abstract

The bachelor thesis deals with the issue of the renewable sources and their connection to the distribution network. At first there are the transmission of the electric power from the place of production to the place of consumption, the particular levels of the voltage that are used for the transmission and finally the service of the distribution system described at the beginning of the thesis. The following part of the thesis describes at first the principle of the production of the selected renewable energy sources. Then it goes into the history of these sources and finally it shows their advantages and disadvantages. The other part of the thesis works with the feedback effects on the electrified distribution network that could be caused by the properties of the renewable sources. This part includes the changes of the voltage, the influence of mass remote control devices signal or flicker. At the end of the theoretical part of the thesis the terms and limits of the connectivity of the individual power plants are described. The practical part of the thesis includes the calculation and assessment of the voltage drop in the 22 kV line with the unconnected and connected renewable source in the distribution system.

Keywords

Renewable sources; transmission electricity; distribution system; low voltage networks; high voltage networks; wind power plants; hydropower plants; photovoltaic power plants; biomass; feedback effects; flicker; mass remote control; voltage changes; limits of connectivity; voltage drop

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek.....	9
1 Úvod	10
2 Teoretický rozbor distribučních sítí nn a vn.....	11
2.1 Přenos elektrické energie.....	11
2.2 Distribuční soustava.....	11
2.2.1 Provozovatelé distribuční soustavy	11
2.2.2 Distribuční síť vn	12
2.2.3 Distribuční síť nn	13
2.3 Druhy sítí.....	14
2.3.1 Paprsková síť	14
2.3.2 Okružní síť.....	15
2.3.3 Mřížová síť	15
3 Obnovitelné zdroje v distribuční síti	16
3.1 Větrná energie.....	16
3.1.1 Větrné elektrárny	16
3.1.2 Popis větrné elektrárny	17
3.1.3 Odporové a vztakové turbíny.....	18
3.1.4 Regulace výkonu.....	19
3.1.5 Větrné elektrárny a ekologie.....	19
3.2 Vodní energie	20
3.2.1 Vodní elektrárny	20
3.2.2 Turbíny vodních elektráren.....	21
3.2.3 Přecherčpávací vodní elektrárny	22
3.2.4 Průtočné vodní elektrárny.....	23
3.2.5 Vltavská kaskáda	23
3.3 Sluneční energie.....	24
3.3.1 Sluneční elektrárna.....	24
3.3.2 Přímá přeměna slunečního záření	24
3.3.3 Nepřímá přeměna slunečního záření	25
3.4 Biomasa.....	25

4	Zpětné vlivy.....	27
4.1	Změny napětí.....	27
4.2	Flikr.....	27
4.3	Ovlivnění signálu HDO.....	28
4.4	Zkratové poměry.....	28
4.5	Harmonické proudy	30
4.5.1	Pro výroby v síti nn.....	30
4.5.2	Výroby v síti vn	31
4.5.3	Výroby v síti 110 kV	32
5	Limity připojitelnosti.....	33
5.1	Regulace činného výkonu	34
5.2	Změny napětí.....	34
5.3	Připojení synchronního generátoru	34
5.4	Připojení asynchronního generátoru	35
5.5	Připojení elektráren se střídači.....	35
5.6	Obnovitelné zdroje připojené do distribuční soustavy	35
6	Příklad výpočtu.....	36
6.1	Výpočet vedení bez připojeného OZE	37
6.2	Výpočet vedení s připojeným OZE.....	39
6.3	Posouzení připojení OZE do vedení	41
7	Závěr.....	42

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka	Význam
CO ₂	Oxid uhličitý
EU	Evropská unie
HDO	Hromadné dálkové ovládání
MVE	Malá vodní elektrárna
NN	Nízké napětí
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PVE	Přečerpávací vodní elektrárny
R22	Rozvodna 22 kV
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí

Symbol	Jednotka	Význam
cos φ	-	Účinník
d	mm	Průměr
f	hz	Frekvence
I	A	Proud
l	m	Vzdálenost
m	kg	Hmotnost
P	W	Výkon
R	Ω	Odpor
S	VA	Zdánlivý výkon
S	m ²	Průřez
U	V	Napětí
v	m.s ⁻¹	Rychlost
X	Ω	Reaktance

Seznam obrázků

Obrázek 2-1 – Přehled distribučních společností na území ČR [2]	12
Obrázek 2-2 – Venkovní vedení VN typu Pařát III s bidlem pro ptáky [5]	13
Obrázek 2-3 – Paprskový rozvod [3]	14
Obrázek 2-4 – Okružní síť [3]	15
Obrázek 2-5 – Mřížová síť [3]	15
Obrázek 3-1 – Schéma větrné elektrárny	18
Obrázek 3-2 – Použití jednotlivých turbín [14]	22
Obrázek 3-3 – Závislost výkonu a spádu na průtoku [23]	23
Obrázek 4-1 – Průběh zkratového proudu [22]	29
Obrázek 6-1 – Schéma vedení s OZE	36
Obrázek 6-2 Vedení bez zapojeného OZE	37
Obrázek 6-3 Vedení 22 kV s připojeným OZE	40

Seznam tabulek

Tab. 2-1 Délka vedení ČEZ Distribuce a. s. [20]	12
Tab. 2-2 Délka vedení E.ON Distribuce a. s. [21]	12
Tab. 2-3 Délka vedení PREdistribuce a. s. [2]	12
Tab. 3-1 Seznam PVE na území ČR	23
Tab. 4-1 Velikost vztažných proudů v závislosti na harmonických pro výpočet maximálních emisí v sítích nn [13]	31
Tab. 4-2 Velikost vztažných proudů v závislosti na harmonických pro výpočet maximálních emisí v sítích vn [13]	31
Tab. 4-3 Velikost vztažných proudů v závislosti na harmonických pro výpočet maximálních emisí v sítích 110 kV [13]	32
Tab. 6-1 Hodnoty činných a jalových proudů jednotlivých odběrů bez OZE	38
Tab. 6-2 Hodnoty činných a jalových proudů jednotlivých úseků bez OZE	38
Tab. 6-3 Odpor a reaktance jednotlivých úseků bez OZE	38
Tab. 6-4 Úbytek napětí jednotlivých úseků vedení bez připojeného OZE	39
Tab. 6-5 Hodnoty činných a jalových proudů jednotlivých odběrů s OZE	40
Tab. 6-6 Činné a jalové proudy jednotlivých úseků s OZE	40

1 Úvod

S rostoucím zvyšováním komfortu života roste i spotřeba elektrické energie. A právě výroba elektrické energie je jedním z nejzávažnějších problémů současnosti. Kvůli klimatickým změnám je věnována velká pozornost na snížení uhlíkové stopy, na které se podílí i výroba elektrické energie spalováním fosilních paliv. V současnosti je velmi rozšířená výroba právě z fosilních paliv, ale do budoucna státy Evropské unie řeší, jak nahradit tyto elektrárny obnovitelnými zdroji, které produkují méně oxidu uhličitého.

Mezi obnovitelné zdroje patří voda, Slunce, vítr, geotermální energie a biomasa. S ohledem na šetrnost k životnímu prostředí a snižování emisí se obnovitelné zdroje čím dál tím více rozšiřují. Rozdíl mezi obnovitelnými a neobnovitelnými zdroji spočívá v tom, že obnovitelné zdroje teoreticky nelze vyčerpat a dovolují opakované využití, jelikož se přirozeně obnovují v lidském časovém měřítku, kdežto neobnovitelné mají omezenou zásobu a jejich obměna neprobíhá tak rychle. Využívání obnovitelných zdrojů s sebou přináší i řadu problémů. Mezi ně patří nespolehlivost a nestabilní dodávka, která je u některých zdrojů přímo závislá na počasí. S tím souvisí i zpětné vlivy, které mají nepříznivý účinek na elektrizační soustavu v podobě rychlých změn napětí či flickru.

2 Teoretický rozbor distribučních sítí nn a vn

Vedením nn se rozumí napětí v rozsahu 50V až 1000V a vedením vn napětí 1000 V až 52 kV.

2.1 Přenos elektrické energie

Cesta elektrické energie z elektrárny až ke koncovému spotřebiteli vede v různých napěťových hladinách. V elektrárnách pracují alternátory na napětích pouze jednotek kV a z tohoto důvodu proud u velkých bloků elektráren dosahuje hodnoty až desítek kA. Takhle veliký proud z hospodárných důvodů nelze přenášet na větší vzdálenosti. Jeden z důvodů je, že vodič pro tak velký proud by musel mít extrémně velký průřez a byl by velmi namáhán magnetickými silami. Druhý důvod, proč není vhodné přenášet takto velký proud, jsou ztráty, které rostou s druhou mocninou proudu.

Z těchto důvodů je pro přenos na větší vzdálenosti vhodnější zvýšit napětí, díky čemuž nám stačí pro přenesení stejného výkonu mnohem menší proud.

Díky blokovým transformátorům umístěným v areálu elektrárny se napětí alternátorů zvýší na vyšší napěťovou hladinu a přenáší se v přenosové soustavě. Přenosová soustava vede velmi vysoké napětí (vvn), které má rozsah 52 kV až 300 kV. Přenosová soustava je provozována většinou ve dvou napěťových hladinách, a to 400 kV a 220 kV. Délka vedení na území České republiky je u 400 kV 3 724 km a u 220 kV 1 909 km. [1]

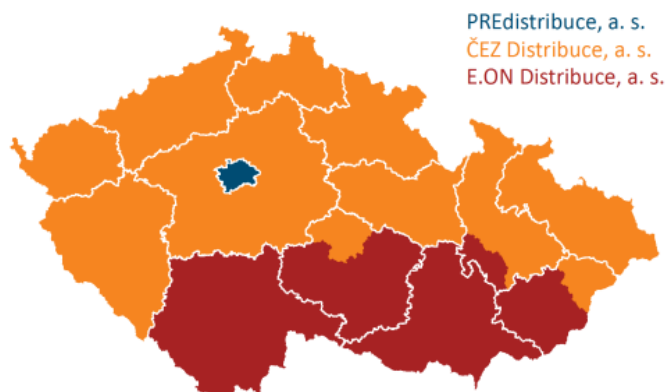
Na konci přenosové soustavy se transformátory převede velmi vysoké napětí o hodnotě 400 kV nebo 220 kV na hodnotu 110 kV a dále je tak vedeno ke koncovému spotřebiteli v distribuční soustavě.

2.2 Distribuční soustava

Distribuční soustava v České republice je tvořena sítěmi velmi vysokého napětí 110 kV, sítěmi vysokého napětí (35 – 22 – 10 – 6 – 3 – 1,5 kV) a sítěmi nízkého napětí (400/230 V). Distribuční síť slouží pro přenášení výkonu na menší vzdálenost a také jsou do ní připojeny elektrárny s menším výkonem. Koncoví zákazníci a odběratelé jsou napojeni na distribuční soustavu a odebírají ze sítě nn, ale mohou taky přes odběratelské trafostanice odebírat z distribuční soustavy vn 22 kV nebo vvn 110 kV.

2.2.1 Provozovatelé distribuční soustavy

V České republice jsou tři provozovatelé distribuční soustavy. Jedná se o ČEZ Distribuce, a. s., která zajišťuje distribuci elektrické energie na většině území České republiky, E.ON Distribuce, a. s., která působí na jihu republiky a PREdistribuce a. s., která distribuuje na území hlavního města Prahy a města Roztoky.



Obrázek 2-1 – Přehled distribučních společností na území ČR [2]

Z hlediska délky vedení na našem území má nejrozsáhlejší síť ČEZ Distribuce a. s., druhý je E.ON Distribuce a. s., a třetí PREdistribuce a. s. (tabulka 2.1, 2.2 a 2.3).

Tab. 2-1 Délka vedení ČEZ Distribuce a. s. [20]

ČEZ Distribuce a. s.	
Druh vedení	[km]
vvn	9 945
vn	50 881
nn	104 307

Tab. 2-2 Délka vedení E.ON Distribuce a. s. [21]

E.ON Distribuce a. s.	
Druh vedení	[km]
vvn	2 405
vn	21 764
nn	39 089

Tab. 2-3 Délka vedení PREdistribuce a. s. [2]

PREdistribuce a. s.	
Druh vedení	[km]
vvn	220,8
vn	3 880,8
nn	8 174,3

2.2.2 Distribuční síť vn

Sítě vn s napětím 22 kV vycházejí z transformoven 110/22 kV. Tyto síť dále putují do centra odběru, a to jako venkovní nebo kabelová vedení.

Zpravidla se venkovní vedení používá pro distribuci na větší vzdálenosti nebo do míst s řidší zástavbou. Venkovní vedení má také nižší pořizovací náklady než kabelová. Venkovní vedení jsou

provozována jako paprsková, ale hlavní vedení, tzv. kmenové linky, jsou vždy napájeny alespoň ze dvou různých transformoven 110/22 kV, aby byly zásobeny i při výpadcích či nestandardních provozních stavech. Ve venkovním vedení jsou používány obvykle holé vodiče a dají se ovládat pomocí takzvaných úsekových spínačů, které mohou být ovládány buď ručně přímo na místě nebo dálkově pomocí motorických pohonů.

V souvislosti s vedením se řeší i ochrana ptáků, kdy zejména pro větší ptáky představuje venkovní vedení nebezpečí zranění nebo usmrcení. Situaci řeší i zákon, konkrétně č. 114/92 Sb. o ochraně přírody a krajiny, který mimo jiné přikazuje právníkům osobám postupovat při stavebních pracích tak, aby nedocházelo k přílišnému zraňování nebo usmrcení živočichů.



Obrázek 2-2 – Venkovní vedení VN typu Pařát III s bidlem pro ptáky [5]

Například firma E.ON Distribuce využívá sloupky typu „Pařát III“ se šikmými rameny, která brání ptákům dosednout přímo na vedení, a dokonce jsou vybaveny dosedacím bidlem, které umožňuje ptákům bezpečně dosednout (Obrázek 2).

Kabelová vedení se používají především v městské zástavbě, ale také tam, kde se z různých příčin nemůže použít vedení venkovní, například z bezpečnostních nebo prostorových důvodů. Kabelová vedení mají zpravidla vyšší pořizovací náklady, avšak oproti venkovním nejsou namáhána teplotními a povětrnostními vlivy, čímž se zvyšuje spolehlivost jejich dodávky. Tato vedení jsou uložena v podzemních tunelech a jsou mechanicky chráněna. Podzemní tunely se dělí na primární neboli hlubinné kolektory a sekundární neboli podpovrchové kolektory. Primární se nacházejí 25 až 35 metrů pod povrchem země, záleží na geologické skladbě podloží, a můžou se do nich uložit veškeré inženýrské sítě mimo kanalizace a plynovodu. Do sekundárních kolektorů můžeme uložit všechny inženýrské sítě kromě plynovodu a nacházejí se přibližně 5 metrů pod zemí. Tyto kolektory řeší problém s ukládáním sítí převážně v historických částech města, kde z prostorových důvodů nelze vést další sítě.

2.2.3 Distribuční sítě nn

Sítě nn patří svojí celkovou délkou mezi nejdelší vedení distribuční soustavy u všech provozovatelů. Vedení nn se provozuje paprskově a začíná v transformátorech 22/0,4 kV, které je pak rozváděno dále k běžným odběratelům.

Trafostanice mohou mít hned několik podob, dělí se na venkovní a kabelová vedení. Pro venkovní vedení se používají trafostanice příhradové, věžové a nejčastěji různé způsoby provedení sloupových trafostanic.

U kabelových sítí se jedná buď o trafostanice vestavěné (nejčastěji uvnitř cizí budovy), zděné anebo kioskové.

Kioskové trafostanice jsou nejmodernějšími trafostanicemi vůbec. Tato zařízení jsou obvykle umístěna v plechovém nebo betonovém kiosku a díky tomu mají skvělé provozní vlastnosti, ať už z bezpečnostního, ekonomického nebo architektonického pohledu. Mezi jejich největší výhody patří rychlost výstavby (kiosky mohou být uvedeny do provozu pár dní po začátku stavění) a bezpečnost (dovnitř kiosků není možný přístup nepovolaným osobám, takže nemůže dojít k ohrožení na zdraví). A v případě havárie se veškeré poruchové stavy odehrají uvnitř, tudíž chrání okolní osoby i majetek. Kiosky ke svému provozu nevyžadují téměř žádnou údržbu, a proto je jejich chod velmi levný. Jsou vhodné pro různá odběrová místa např. u obytných lokalit, výrobních závodů nebo průmyslových zón. Dají se použít i pro vyvedení výkonů z menších zdrojů elektrické energie – větrné elektrárny, menší vodní elektrárny nebo fotovoltaiky.

Tak jako u sítí vn, provozují se rozvody nn ve venkovním i kabelovém provedení. Zde je však již patrný jasný trend, a to ten, že při výstavbě nových a většinou i při obnově stávajících sítí nn se přednostně budují jako zemní kabelové sítě. [6]

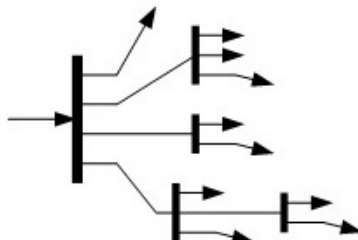
Venkovní vedení můžeme nejčastěji vidět na železných, dřevěných nebo betonových sloupech odváděné z trafostanic přímo do jednotlivých ulic směrem k zákazníkům. Tato vedení často vedou přes střešní konzole umístěných přímo na domech, což přináší značné problémy z hlediska povětrnostních vlivů, ale také u případné rekonstrukce či přestavby domu.

U větších měst a na více zastavěných územích se mnohem častěji setkáme s kabelovým vedením. Součástí kabelových sítí jsou také rozpojovací skříně, elektroměrové rozvaděče, přípojkové skříně smyčkovací a koncové, které jsou ale již součástí instalace odběratele a distributor zde umístí pouze elektroměr a případně hromadné dálkové ovládání (HDO), umožňující vysílat povely pro zapnutí nebo vypnutí spotřebičů či změnu tarifů.

2.3 Druhy sítí

2.3.1 Paprsková síť

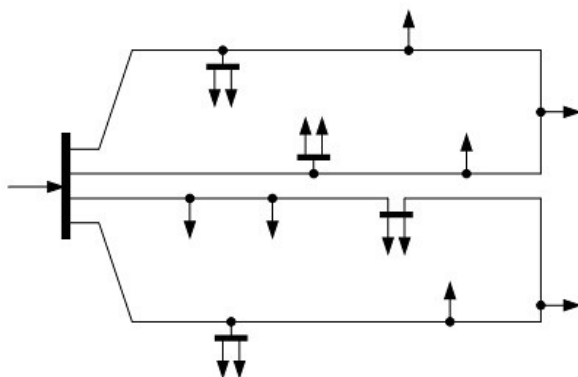
Jedná se o nejjednodušší a nejlevnější síť, která je ale zároveň nejméně spolehlivá. Využívá se v rozvodech nn, kde se neklade nárok na vysokou spolehlivost dodávky, ale také na venkově, menších městech či v malých průmyslových závodech. Zařízení jsou připojeny ke zdroji pouze jedním paprskem a pokud dojde k poruše, je přerušena dodávka, jelikož paprsky se navzájem nesmí propojovat.



Obrázek 2-3 – Paprskový rozvod [3]

2.3.2 Okružní síť

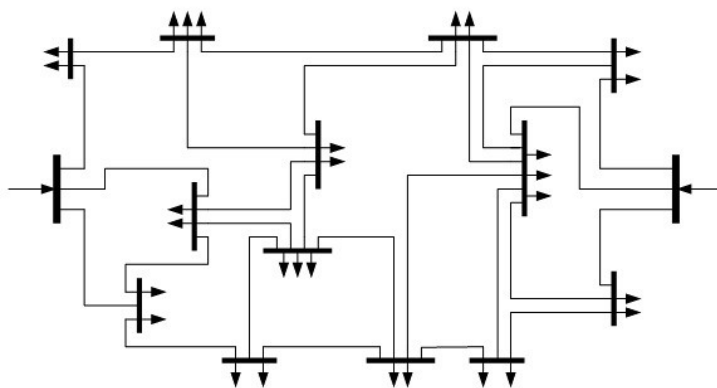
Jedná se o spolehlivější síť, než je síť paprsková, jelikož je možné se ke každému odběru dostat ze dvou stran. Napájením ze dvou stran se zvyšuje spolehlivost dodávky, při poruše se poškozená část odpojí a do dokončení opravy se používá jako paprsková. Tyto sítě se využívají v městské obytné části nebo v průmyslových objektech. [4]



Obrázek 2-4 – Okružní síť [3]

2.3.3 Mřížová síť

Jedná se o nejspolehlivější, ovšem taky nejnákladnější síť. Mřížová síť má několik hlavních rozvaděčů napájených nejméně dvěma, ale lépe třemi až pěti napáječi z vn a hustější síť podružných rozvaděčů. Podružné rozvaděče jsou vždy napájeny minimálně ze dvou směrů a mohou propojit několik paprsků. Transformátory musí být dimenzovány, aby dokázaly pokrýt přenášený výkon a nedošlo k poklesu napětí ani v případě vypadnutí jednoho vedení. Tato síť se používá v hustě obydlených městských zástavbách a ve velkých průmyslových celcích.



Obrázek 2-5 – Mřížová síť [3]

3 Obnovitelné zdroje v distribuční síti

Přechod na výrobu převážně z obnovitelných zdrojů nelze realizovat v krátkém časovém období, ale může být úspěšný pouze při důkladně promyšleném zavedení v delším časovém období.

Obnovitelné zdroje pochází z jaderných přeměn uvnitř Slunce, setrvačnosti soustavy Země – Měsíc nebo tepla zemského nitra.

Zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů definuje obnovitelné zdroje takto: „*Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.*“ [23]

Obnovitelné zdroje jsou v členských státech EU podporovány povinným výkupem vyrobené elektřiny za stanovenou cenu. Mimo jiné se cena elektřiny pro spotřebitele skládá z příspěvku na obnovitelné zdroje. Příspěvek tvoří 13,35 % z ceny elektřiny, o jeho výši rozhoduje Energetický regulační úřad. [8]

Cílem Evropské unie je, že do roku 2030 se bude každá členská země podílet minimálně 32 % výrobou z obnovitelných zdrojů na spotřebě energie. Tuto hranici již dnes překonalo Rakousko, Švédsko, Finsko, Lotyšsko a Dánsko. Využití obnovitelných zdrojů v České republice se pohybuje kolem 16 % z celkové spotřeby energie. Největší podíl na výrobě u nás mají uhelné a jaderné elektrárny.

3.1 Větrná energie

Je obnovitelná energie, která se používá pro výrobu elektrické energie prostřednictvím větrných elektráren. Vítr je proudění vzduchu v atmosféře, které vzniká díky slunečnímu záření, rotaci Země a střídání dne a noci. Kvůli rozmanitosti Země se některá místa zahřívají rychleji než jiná, čímž vznikají místa s rozdílnou teplotou. Z fyzikálních zákonů víme, že teplejší vzduch má oproti studenějšímu tendenci stoupat, díky čemuž vznikají tlakové níže a výše. Vyrovnáním těchto tlaků vzniká vítr, který při Zemi vždy fouká směrem od tlakové výše k tlakové níži.

Větrná energie je člověkem využívána již po staletí, převážně se využívala pro mletí obilí, čerpání vody, zpracovávání dřeva nebo pro pohon lodí. První výroba elektrické energie z větrné energie se objevila v 19. století.

3.1.1 Větrné elektrárny

V současné době patří větrné elektrárny mezi nejžádanější formy výroby elektrické energie, kvůli snaze o snížení nepříznivých vlivů vznikajících spalováním fosilních paliv.

Celosvětově instalovaný výkon větrných elektráren překročil v roce 2018 600 GW, největší zásluhu na tom má Čína s 221 630 MW, USA s 96 363 MW a Německo s 59 313 MW instalovaného výkonu. [8]

Největší problém u větrných elektráren spočívá ve vybrání ideálního místa pro stavbu. Při uvažování o vhodnosti místa na vybudování elektrárny se bere v potaz větrná mapa ČR, kterou vytvořil Ústav fyziky atmosféry Akademie věd ČR na základě podkladů Českého hydrometeorologického ústavu. V České republice se velká část vhodných míst pro výstavbu větrné elektrárny nachází

v chráněné krajinné oblasti nebo na hřebenových partiích hor. Velmi dobře se jeví pro výstavbu větrných elektráren Krušné hory, avšak krajina pod nimi je zdevastována těžbou hnědého uhlí.

Výběr vhodné lokality pro postavení větrné elektrárny se hodnotí třemi počítačovými modely, se kterými pracuje Ústav fyziky atmosféry Akademie věd ČR i Český hydrometeorologický ústav. Pokud se tyto hodnoty jeví dobře, začne se reálně měřit rychlost větru v daném místě. Pro přesná data by mělo měření trvat alespoň rok a měřicí přístroj by měl být umístěn ve stejné výšce jako budoucí rotor případné elektrárny.

Větrné elektrárny se dělí podle instalovaného výkonu, můžeme mít elektrárny pro vlastní spotřebu, které nemusí být ani připojeny do soustavy, jedná se elektrárny malých výkonů do 10 kW. U malých větrných elektráren se využívají vícepólové synchronní generátory s permanentními magnety.

Větší větrné elektrárny používají asynchronní motor s kotvou nebo synchronní generátory. Výhoda asynchronních motorů spočívá v nenáročné údržbě, vysoké spolehlivosti a nízkých pořizovacích nákladech. Naopak nevýhodou je malá regulace otáček. Synchronní generátory u velkých větrných elektráren jsou poháněny přímo turbínou bez převodovky. Tím se sníží hmotnost celé gondoly, ale zase se zvětší rozměry z důvodu připojení frekvenčního měniče s možností regulace výkonu. Tyto elektrárny mohou pracovat v širokém rozpětí otáček.

Moderní větrné elektrárny dosahují instalovaného výkonu kolem 3 MW. Rozběhová rychlost těchto elektráren je obvykle kolem 4 m.s^{-1} , pro zvýšení výroby mohou být vybaveny dvěma generátory. Elektrárna se rozjíždí přes menší generátor s rozběhovou rychlostí kolem $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ a při větší rychlosti větru se přepne na větší generátor. Elektrárny jsou obvykle navrhovány tak, aby docílily největší produkci při rychlosti větru kolem 15 m.s^{-1} , stavět je pro rychlejší vítr je nevhodné, jelikož silnější vítr se objevuje jen zřídka. V případě rychlejšího větru, než je 24 m.s^{-1} se musí elektrárna odstavit, aby nedošlo k jejímu poškození. Pro snížení nákladů se větrné elektrárny mohou sdružit do skupin na tzv. větrné farmy. Obvykle je takto u sebe umístěno 5 až 30 elektráren. Větrné farmy umístěné mimo pevninu se nazývají offshore, tyto farmy jsou umístěné v mořích, kde fouká stabilnější vítr, a proto generují vyšší elektrický výkon. Nevýhodou těchto offshore farem jsou vyšší náklady na výstavbu a následnou údržbu.

Připojení větrné elektrárny do distribuční soustavy s sebou nese riziko nežádoucích jevů. Tyto vlivy jsou nejčastěji dány způsobem zapojení generátoru k distribuční soustavě, zkratovým výkonem a volbou měřicího a řídicího zařízení. Každý zdroj připojený do sítě ji v mnoha ohledech ovlivňuje a v případě větrných elektráren nebo rovnou celých větrných parků jsou tyto vlivy veliké. Zpětné jevy nesmí překročit hodnoty povolených mezí. Základní sledované vlivy jsou:

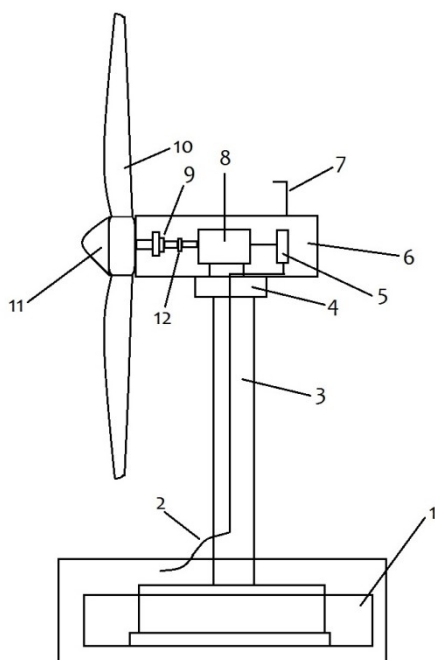
- přetěžování sítí
- kolísání napětí
- zvýšení zkratových poměrů
- kvalita dodávky elektrické energie

3.1.2 Popis větrné elektrárny

Klasická větrná elektrárna se skládá z následujících částí: hlavní dominantou elektrárny je tubus, který dosahuje výšky od 80 do 120 metrů. Má kónický tvar a stojí na betonovém základě. Dále je na tubus přidělena strojovna, ve které se nachází nejdůležitější přístroje celé elektrárny. Gondola se může na tubusu pomocí elektrických motorů otáčet tak, aby rotor byl vždy kolmo k proudění vzduchu. Elektrárna si sama vyhodnocuje směr a rychlost větru. Na strojovnu je připojena otáčející se část

elektrárny neboli rotor. Větrné elektrárny využívají třílistý rotor, čím větší rotor je, tím více je elektrárna schopna vyrobit elektrické energie. Listy roztáčí elektrárnu, ale také regulují rychlost v případě silnějších větrů. Uvnitř se nachází převodovka, která zajišťuje převod rychlosti rotoru na mnohem vyšší rychlost generátoru. Převodovka je nejporuchovější část elektrárny, proto některé firmy používají bezpřevodkové elektrárny. Za převodovkou se nachází brzda, která zabráňuje nežádoucímu roztočení. Následně se nachází generátor, který přeměňuje mechanickou energii na elektrickou energii. Můžeme se setkat se dvěma typy generátorů. Asynchronní generátory u elektráren s převodovkou a synchronní u elektráren bez převodovky. Elektrárny jsou většinou připojeny do distribuční soustavy s napětím 22 nebo 35 kV, proto se za generátorem nachází transformátory, které transformují napětí z elektrárny o hodnotě 400 – 690 V na napětí distribuční soustavy.

Popis obrázku 6 schéma větrné elektrárny: 1 – betonový základ, 2 – elektrická přípojka, 3 – tubus, 4 – mechanismus na otáčení gondoly, 5 – transformátor, 6 – strojovna, 7 – senzor pro snímání rychlosti a směru větru, 8 – generátor, 9 – převodovka, 10 – list rotoru, 11 – rotor, 12 – brzda.



Obrázek 3-1 – Schéma větrné elektrárny

3.1.3 Odporové a vztakové turbíny

Větrné motory jsou zařízení, která uvnitř větrné elektrárny přeměňují kinetickou energii větru na mechanickou a následně na elektrickou energii. Elektrárny můžeme rozdělit podle několika různých hledisek, ale základní dělení je podle provedení aerodynamického principu funkce větrného motoru na motory odporové a vztakové.

Odporové větrné turbíny patří mezi nejstarší typy větrných turbín. Principem jejich funkce je, že plocha nastavená proti větru klade aerodynamický odpor, čímž se vytváří síla, která se přeměňuje na rotační pohyb. Mezi výhody odporových motorů patří jednoduchá konstrukce, nezávislost na směru

větru a využití širokého pásma síly větru. Naopak nevýhodou je účinnost těchto motorů, která bývá v rozmezí 15 – 23 %, a proto se s nimi do moderní energetické koncepce příliš nepočítá.

Vztlakové větrné turbíny jsou v posledních letech neustále zdokonalovány a jejich účinnost již dosahuje přes 40 %. Vztlakové turbíny pracují na vztlakovém principu, kdy obtékáním vzduchu kolem listu vrtule vzniká vztlak. Motory jsou využívány pro přeměnu kinetické energie vzduchu na mechanickou práci. Mezi tyto motory patří vrtule, které se u rychloběžných motorů nejčastěji konstruují jako dvou nebo třílisté, ale vyrábí se i jedno, popřípadě čtyřlísté provedení. Vítr při protékání pracovní plochy motoru přichází o svou rychlost, a tedy i o část své energie. Mezi výhody vztlakových motorů patří vyšší účinnost než u odporových motorů a relativně nízká hmotnost. Za nevýhody lze brát zhoršený rozběh při nižších rychlostech větru, obvykle bývá rozběhová rychlost okolo 5 m.s⁻¹. Tyto motory se využívají pro výrobu elektrické energie.

3.1.4 Regulace výkonu

Regulace výkonu velkých větrných elektráren lze provádět několika způsoby. Jedná se o regulace typu Stall, Pitch, Active Stall, Stall–Pitch a Pitch–Stall.

Regulace typu Stall se využívá u elektráren s výkonem do 1 MW. Lopatky jsou pevně uchyceny k rotoru a výkon se reguluje proměnným tvarem lopatek. Když se zvedá rychlost větru, dochází ke změně tvaru konce lopatky, která způsobí zvýšení úhlu náběhu na konec lopatky a odtržení proudu vzduchu od ní. To pak vede ke snížení vztlaku a pokles momentu. Nevýhodou je pokles výkonu při vyšších rychlostech větru a neschopnost samostatného rozběhu.

Regulace typu Pitch pracuje se vstupním signálem generátoru a v případě, že výkon přesahuje bezpečné meze, tak hydraulický systém vychýlí lopatky rotoru. Vychýlení způsobí zmenšení vztlaku a snížení momentu, pokud se rychlost větru sníží, hydraulický systém opět natočí lopatky, tentokrát opačným směrem. Mezi výhody patří nižší hmotnost rotorových listů, jejich menší zatížení a jednoduchý start elektrárny díky nastavení úhlu náběhu.

Regulace Active – Stall se chová při nižších rychlostech větru stejně jako regulace typu Pitch, avšak při dosažení limitních hodnot se lopatky natočí v opačném směru, než je tomu u regulace Pitch. Tím dojde ke zvýšení úhlu náběhu větru a snížení vztlaku, úhel natočení nemusí být tak vysoký, a proto lze reagovat i na náhlé nárůsty větru a chránit tak generátor před přetížením.

Regulace Stall – Pitch je kombinací regulací Stall a Pitch, při rozběhu a nižších otáčkách pracuje v režimu Pitch. Při zvýšení rychlosti se změnou geometrie lopatek zmenší moment, tak jak je tomu u regulace Stall. Při vysokých rychlostech se udržuje maximální možný výkon natáčením lopatek. Výhodou regulace je stabilnější udržování výkonu, naopak nevýhodou je vysoká hluchost.

Regulace Pitch – Stall využívá při nízkých otáčkách regulaci typu Pitch a při dosažení vysokých otáček je výkon omezen natáčením lopatek, ale při ještě vyšších rychlostech se postupně zapojuje regulace Stall. Výhodou je nízká hluchost a menší deformace lopatek.

3.1.5 Větrné elektrárny a ekologie

Celkově by se větrné elektrárny daly shrnout jako bezemisní zdroj elektrické energie, který pro svůj provoz nevyžaduje téměř žádné manuální řízení. Ovšem jejich výkon je nestabilní z důvodu závislosti na počasí. Z dlouhodobějšího hlediska může představovat problém recyklace vyřazených elektráren, průměrná provozní doba je 20 let. Zhruba 80 % elektrárny by mělo být plně recyklovatelné, ale

nejproblémovější části jsou listy rotorů. Tyto listy se skládají z uhlíkových vláken, polyesteru a termoplastu. Prozatím vyřazených elektráren není tolik a listy se můžou buď ukládat na skládky nebo rozdrtit a spálit, ale do budoucna, s přibývajícím počtem vyřazených elektráren, to může být veliký problém.

Z výzkumu, který proběhl v Indii, vyplývá, že větrné elektrárny můžou představovat predátory pro velké dravé ptáky, a proto se v místech elektráren příliš nevyskytují. To vede k většímu výskytu a ke změně chování u zvěře, která je potravou těchto dravců, jedná se převážně o plazy. [9]

Další otázkou je, zdali elektrárny skutečně nezhoršují změnu klimatu, podle Harvardského výzkumu přispívají větrné elektrárny ke zvyšování teploty z důvodu míšení tepla a vlhkosti v atmosféře, což může vést až ke změně klimatu. Pokud by USA pro celou svoji spotřebu využívala pouze větrné a solární elektrárny, mohla by průměrná teplota vzrůst zhruba o 0,24 °C. Avšak sami autoři tohoto výzkumu tvrdí, že je nepravděpodobné, aby USA vyráběla energii pro svou vlastní spotřebu pouze ze solárních a větrných elektráren a také, že nepříznivý dopad na klima má větrná elektrárna větší v perspektivě jednotek let, ale z hlediska stovek let má enormně menší dopad než elektrárny uhelné. [10]

3.2 Vodní energie

Lidstvo využívá vodní energii již od starověku. Nejprve se využívala k převozu lidí a nákladu pomocí říčních proudů, následně k pohánění mlýnů, hamrů, pil atd., nyní se dá její mechanická energie převést na elektrickou energii.

Vodní energie je tvořena silou toku. Převodění mechanické energie vody na energii elektrickou spočívá v umístění turbíny do proudu vody. Turbína je na společné hřídeli s generátorem, který produkuje elektrický proud. Elektrická energie se dále transformuje a odvádí do místa spotřeby.

3.2.1 Vodní elektrárny

Vodní elektrárny jsou důležitou součástí energetických zdrojů. I když v České republice nejsou ideální podmínky pro stavbu velkých vodních děl, jsou tyto elektrárny potřebné. Jelikož jsou schopny velmi rychle najet na plný výkon, dokážou tak pohotově reagovat na okamžitou spotřebu elektrické energie. Velmi se hodí především do špičkového provozu. Vodní elektrárny mohou být umístěné na řekách a jedná se tedy o průtokové elektrárny, anebo elektrárny akumulární, které jsou součástí přehrad.

Instalovaný výkon vodních elektráren v České republice je 1961,1 MW. Z hlediska obnovitelných zdrojů se jedná o největší zdroj elektrické energie. Velké vodní elektrárny jsou převážně situovány na Vltavě a tvoří tzv. vltavskou kaskádu. Jedná se o devět vodních děl za sebou umístěných na Vltavě. Provoz vltavské kaskády je automatický a je řízen z dispečinku ve Štěchovicích.

Vodní elektrárny můžeme dělit podle několika kritérií.

Podle instalovaného výkonu:

- malé do 10 MW
- střední do 100 MW
- velké nad 100 MW

Podle spádu:

- nízkotlaké (spád do 20 m)
- středotlaké (spád 20 až 100 m)
- vysokotlaké (spád nad 100 m)

Podle vodního toku:

- průtočné
- akumulační
- přečerpávací

Připojení vodních elektráren do energetického systému závisí na jejich výkonech. Malé vodní elektrárny pracují paralelně s elektrizační sítí. Nejmenší výkony jsou připojeny k síti nízkého napětí a vyrobená energie je určena pro vlastní spotřebu, případný přebytek se dodává do místní distribuční sítě nn. MVE s vyššími výkony (cca od 300 do 1000 kW) se připojují do distribuční sítě nn, vyšší výkony se připojují do sítě vn. Napětí u velkých vodních elektráren se transformátory zvyšuje na vn, popřípadě vvn a dále se vede v distribuční nebo přenosové soustavě.

3.2.2 Turbíny vodních elektráren

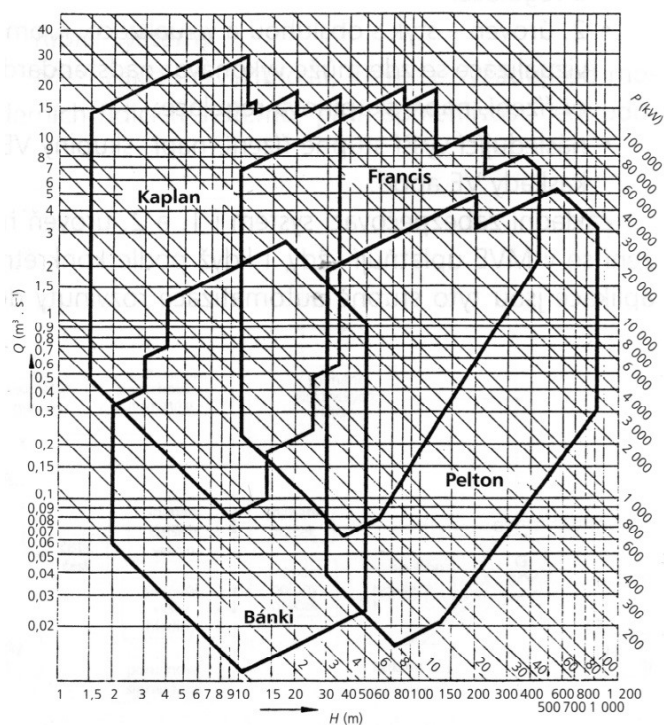
Existují čtyři základní typy turbín, které se využívají ve vodních elektrárnách. Podle množství protékající vody a velikosti spádu, tzn. vzájemného převýšení dvou hladin, se určí vhodný typ turbíny (obrázek 3-2). Turbíny se dělí na rovnotlaké a přetlakové. Rovnotlaké turbíny mají tlak vody po celou dobu stejný, to znamená, že voda vtéká do turbíny se stejným tlakem, s jakým z ní vytéká. U přetlakových turbín vstupuje voda do oběžného kola s přetlakem a při průtoku tento tlak klesá. Vodní turbíny jsou nejdokonalejší mechanické motory, které dosahují účinnosti 95 %.

Nejstarší turbína vynalezená v roce 1848 Jamesem B. Francisem se jmenuje Francisova turbína. Je to přetlaková turbína, která může být vertikální nebo horizontální. Tyto turbíny jsou nejpoužívanější na světě a využívají se především u přečerpávacích elektráren. Nachází se například v přečerpávací vodní elektrárně Dlouhé Stráně.

Peltonova turbína byla vynalezena v roce 1880 Lesterem A. Peltonem. Vhodná pro elektrárny s velkým spádem a malým průtokem. Je to rovnotlaká turbína s jednoduchou konstrukcí. Je velmi citlivá na čistotu vstupující vody, aby nedošlo k ucpaní.

V roce 1912 vynalezl Viktor Kaplan Kaplanovu turbínu, přetlakovou turbínu, která je vhodná pro malé spády a velké průtoky. Může se instalovat se svislou nebo vodorovnou hřídelí. Díky možnosti náklonu lopatek rozváděcího a oběžného kola může být regulována. Účinnost Kaplanovy turbíny je vyšší než účinnost turbíny Francisovy, ale vzhledem ke složitější konstrukci je také dražší.

Bánkiho turbína, kterou vynalezl Donát Bánki v roce 1917, je jednoduchá rovnotlaká vodní turbína. Používá se v malých vodních elektrárnách, kde by instalování dokonalejších turbín bylo neekonomické. Lze použít pro široký rozsah z hlediska spádu i průtoku.



Obrázek 3-2 – Použití jednotlivých turbín [14]

3.2.3 Přečerpávací vodní elektrárny

Přečerpávací elektrárny jsou potřebné pro správný chod elektrizační soustavy. Jedná se o dvě výškově rozdílné vodní nádrže spojené potrubím, v dolní části potrubí je uložena turbína s generátorem. V PVE se používají turbíny s reverzním chodem a nastavitelnými lopatkami. Tyto elektrárny vyrábějí elektrickou energii zejména v době špičky čerpáním vody z horní nádrže přes turbínu a generátor do spodní nádrže. Pokud je však elektriny v síti přebytek, spotřebovává elektrickou energii čerpáním vody ze spodní nádrže přes turbínu zpátky do horní nádrže. Tato činnost je řízená dálkově z dispečinku. Tímto lze akumulovat elektrickou energii. Na plný výkon dokážou najet během pár desítek vteřin.

Největší přečerpávací elektrárna v České republice Dlouhé Stráně se nachází v Jeseníkách. Výstavba začala již v roce 1978, ale následně byla stavba přerušena, dokončena a spuštěna do provozu byla až v roce 1996. Tato elektrárna je z technologického hlediska pozoruhodné dílo, jelikož má největší reverzní vodní turbínu v Evropě s výkonem 325 MW, spád 510 metrů, který je největší v České republice a největší instalovaný výkon v České republice 2 x 325 MW. Území, na kterém je elektrárna postavena patří do chráněné krajinné oblasti, a proto má i spoustu kritiků, kterým se nelíbí zásah do vzhledu přírody. Kvůli co nejmenšímu zásahu do přírody je veškerý provoz elektrárny umístěn v podzemí, čímž si zasloužila ocenění jako jedna z nejekologičtějších staveb v Evropě. Horní nádrž elektrárny se nachází na hoře Dlouhé Stráně ve výšce 1350 m n. m. Provoz elektrárny je řízen z dispečinku v Praze.

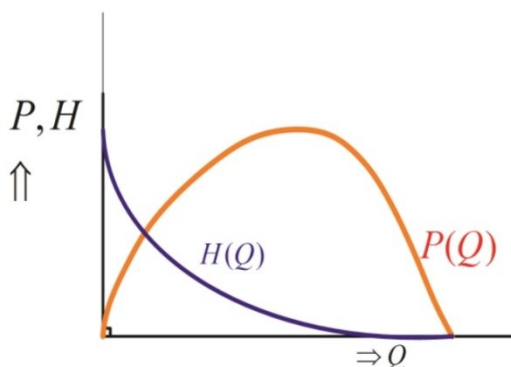
V současné době jsou na našem území v provozu tři přečerpávací elektrárny, jedná se o Dalešice, Štěchovice II a Dlouhé Stráně (Tabulka 3.1).

Tab. 3-1 Seznam PVE na území ČR

Název	Typ turbíny	Instalovaný výkon [MW]	Spád [m]	Uvedení do provozu
Dlouhé Stráně	Francisova	2 x 325	510	1996
Dalešice	Francisova	475	90	1978
Štěchovice II	Kaplanova	2 x 11,25	220	1943-1944

3.2.4 Průtočné vodní elektrárny

Průtočné vodní elektrárny pracují v oblasti základního trvalého zatížení, jelikož k výrobě elektrické energie využívají průtok vody v řece, a tak se její výkon nepřizpůsobuje aktuální poptávce v soustavě. Tyto elektrárny pracují bez možnosti akumulace vody. Jedná se o elektrárny s nízkým spádem. Využívají množství vody až do úplné hltlosti, na které jsou dimenzovány, zbytek průtoku přepadá přes jez. U průtočných elektráren se převážně využívá Kaplanovy nebo Francisovy turbíny. U elektráren s malým spádem se při zvětšení průtoku zmenšuje spád, při velkých hodnotách průtoku, například při povodních, může dojít k vyrovnání spodní a horní hladiny a spád být tudíž nulový. Výkon u průtočných elektráren nejprve roste s rostoucím průtokem a po dosažení maxima klesá k nule (obrázek 8).



Obrázek 3-3 – Závislost výkonu a spádu na průtoku [23]

3.2.5 Vltavská kaskáda

V úseku dlouhém zhruba 260 km se na řece Vltavě nachází devět vodních děl, které se dohromady nazývají vltavská kaskáda. Tato kaskáda slouží k výrobě elektrické energie, zlepšení průtoku dolního toku řeky, ochraně před povodněmi a také k rekreaci. Všechny tyto elektrárny vyrábí levnou a ekologicky čistou energii.

Nejstarší elektrárnou vltavské kaskády je vodní elektrárna Vrané nad Vltavou. Byla uvedena do provozu již v roce 1936. Jedná se o poslední stupeň vltavské kaskády. Provoz je řízen dálkově z dispečinku ve Štěchovicích. Vybudováním vltavské kaskády se natolik zlepšila kvalita vody, že v úseku Vltavy mezi Vranou a Berounkou jsou chováni pstruzi a hlavatky. Elektrárna je osazena Kaplanovými turbínami o výkonu 2 x 6,94 MW.

Největší elektrárnou na vltavské kaskádě je vodní elektrárna Orlík, která používá Kaplanovy turbíny a má výkon 4 x 91 MW. Na plný výkon je schopná najet za 128 sekund a podílí se na výrobě špičkové elektrické energie. Byla vybudována v letech 1954-1961 a jedná se o nejobjemnější akumulační nádrž v České republice. Nemá funkci pouze pro výrobu elektrické energie, ale je také důležitá pro regulaci průtoku, lodní dopravu a rekreaci. Napětí 15 kV vycházející z generátoru na hladině je dále transformováno na 220 kV a dále vedeno v přenosové soustavě.

3.3 Sluneční energie

Sluneční energie je základem pro většinu energií, které se na Zemi objevují a využívají. Tato energie vzniká jadernými přeměnami uvnitř Slunce. Mezi její projevy na Zemi patří větrná energie, vznik fosilních paliv, vodní energie a další. Jelikož se předpokládá, že Slunce bude svítit ještě dalších 5 až 7 miliard let, považuje se tato energie za obnovitelnou. Záření Slunce patří mezi nejdostupnější a nejčistší zdroje energie vůbec.

3.3.1 Sluneční elektrárna

Sluneční elektrárna je zařízení, které pro výrobu elektrické energie využívá sluneční energii. Výrobu elektrické energie lze rozdělit na dva způsoby: přímou a nepřímou.

3.3.2 Přímá přeměna slunečního záření

Mezi přímé přeměny patří fotovoltaika, která přeměňuje sluneční energii na elektrickou pomocí solárních panelů a pracuje na principu fotoelektrického jevu. Na PN přechod dopadají fotony slunečního záření a vyražejí elektrony z valenčního pásu do vodivostního. Materiál typu N obsahuje velké množství negativně nabitých elektronů, zatímco materiál typu P obsahuje prázdná místa neboli díry, které elektrony snadno akceptují. Tam kde se materiály P a N setkávají dochází k párování elektronů s děrami, čímž se vytváří magnetické pole, která brání dalším elektronům v pohybu. Pro správnou funkci je důležitý dopad fotonu slunečního záření o vhodné vlnové délce, které přebytečné elektrony odvedou do vnějšího obvodu. Fotovoltaický panel vyrábí stejnosměrný proud. Aby mohla být elektrárna připojena do rozvodné sítě, musí být vyrobený stejnosměrný proud převeden na střídavý, toho lze docílit použitím tzv. invertoru.

Jelikož napětí jednoho článku není vysoké, uspořádávají se v panelech do série, čímž vznikne větší napětí sečtením jednotlivých článků. Tyto panely musí odolávat také mechanickým vlivům, protože jsou umístěné venku přímo na slunečním záření a jsou tak vystavovány různým rizikům, ať už se jedná o silný vítr, déšť, sněžení nebo krupobití. Současně musí sklo propouštět co nejvíce slunečního záření. Toto sklo se nachází na přední straně článku a jedná se o speciálně tvrzené sklo, které je vysoce průhledné. Pro uchycení k nosníkům jsou opatřeny hliníkovým rámem. Zezadu jsou uzavřeny vícevrstvou plastovou fólií, případně další skleněnou vrstvou, zde se také nachází svorkovnice s kabelovými vývody. Elektrárna musí být také chráněna před úderem blesku pomocí přepěťové ochrany, a to jak na straně se stejnosměrným napětím, tak i na straně se střídavým napětím.

Nejpoužívanější materiál u fotovoltaických článků je křemík, u kterého lze dosáhnout vysoké účinnosti díky širší zakázaného pásma a nižší rychlosti rekombinace neboli zániku páru elektron – díra v polovodičích.

Efektivita fotovoltaické elektrárny je závislá hned na několika faktorech. Je potřeba zvolit vhodnou lokalitu, nastavit úhel sklonu panelu a správnou orientaci vůči světovým stranám. Vhodnou lokalitu lze vybrat ze sluneční mapy. Ze sluneční mapy pro Českou republiku vyplývá, že nejvhodnější oblasti pro výstavbu fotovoltaických elektráren jsou v jižních Čechách a na jižní Moravě. Ideální orientace fotovoltaické elektrárny je směrem na jih. Nejideálnější sklon napevno instalovaných elektráren je zhruba 33°, jedná se o kompromis mezi zimním obdobím, kdy je Slunce nízko nad horizontem a letním obdobím, kdy je Slunce vysoko. Existují automatizované polohovací jednotky, které natáčí panely tak, aby na ně paprsky slunečního záření dopadaly stále kolmo a tím se zvyšovala efektivita.

V dnešní době je moderní instalovat fotovoltaické panely pro vlastní spotřebu na střechy budov. Nejvhodnější budovy pro instalování fotovoltaických panelů jsou ty, které mají největší spotřebu energií

v průběhu dne, kdy je největší i sluneční svit. Jedná se o školy, výrobní haly či administrativní budovy. U rodinných domů, které mají převážně největší spotřebu ráno a večer, to je s fotovoltaikou horší, ale využitím chytrých domácích spotřebičů lze poměr zvýšit, například automatickým startem pračky nebo myčky v době, kdy se zvýší sluneční svit.

3.3.3 Nepřímá přeměna slunečního záření

Druhou variantou přeměny slunečního záření na elektrickou energii je nepřímá přeměna. Jedná se o sluneční tepelné elektrárny, které vyrábějí elektřinu stejným principem jako klasické tepelné elektrárny. Pomocí zrcadel řízených počítačem se odrážejí sluneční paprsky na zásobník nebo trubice se syntetickým olejem, který se zahřívá na teplotu zhruba 400°C. V parogenerátoru se následně vytváří pára pro pohon turbíny. Následně pára kondenzuje v kondenzátoru, který se musí chladit, spotřebuje se tak velké množství vody, a proto je výhodné tyto elektrárny stavět v blízkosti moře.

Pro optimální chod potřebují tyto elektrárny sluneční svit. V noci, nebo když sluneční svit nebyl dostatečný, se dříve používal plynový záložní zdroj. Modernější sluneční elektrárny dokážou akumulovat elektrickou energii v několika tunách tekutých solí. Nejčastěji se využívá dusičnan amonný nebo dusičnan sodný. Tepelná energie uložená v soli může pohánět elektrárnu na plný výkon i několik hodin po setmění.

Tyto elektrárny se rozkládají na velkých plochách a pro optimální chod potřebují stabilní sluneční svit. Proto se využívají v pouštích. Mezi nejznámější patří solární elektrárna Ivanpah, která se nachází v Mohavské poušti v Kalifornii s výkonem 380 MW. [11]

Nejvyšší sluneční věž se nachází ve sluneční elektrárně v Izraeli s výškou 250 metrů, tato elektrárna dosahuje výkonu 121 MW.[12]

3.4 Biomasa

Biomasa je hmota organického původu nefosilního charakteru. Jedná se o rostliny, bakterie, živočichy a houby. Biomasa vzniká vlivem slunečního záření, které je zachyceno v rostlinách a uloženo ve formě chemické energie. V energetice se k získání energie z biomasy používá její spalování (termochemický proces) nebo mokrá proces (biochemie). Při termochemickém procesu dochází k rozkladu na hořlavé plyny a další látky. S přítomností vzduchu dochází k oxidaci a uvolňuje se teplo, které závisí hlavně na výhřevnosti a vlhkosti daného paliva, ale také oxid uhličitý a voda. Velký vliv na výhřevnost paliva má obsah vody v biomase. Proto je nutné biomasu před spálením vysušit a dostat tak vlhkost pod 30 % ideálně kolem 20 %.

Na rozdíl od spalování fosilních paliv má spalování biomasy téměř nulovou bilanci oxidu uhličitého. I když se tedy při spalování uvolňuje oxid uhličitý, počítá se, že je to přibližně stejné množství, jaké rostlina za dobu svého života absorbuje při fotosyntéze.

Nejčastěji se v energetice využívá biomasa rostlinného původu, zejména dřevo. Dřevo je relativně snadně dostupné a levné, avšak při spalování kusového dřeva je obtížná regulace. Častou formou spalování jsou tak dřevěné pelety, které se vyrábějí lisováním, pelety mají nízký obsah vody, a proto mají velmi dobrou výhřevnost. Pelety jsou tak malé, že s nimi lze zacházet jako s kapalným palivem. Další možností využití dřeva je dřevní štěpka, která se získává z dřevního odpadu při těžbě dřeva nebo z plantáží rychle rostoucích dřevin. Cena dřevěné štěpky je nižší oproti peletám, ale jelikož se zpracovává téměř vždy jako čerstvá, má v sobě vyšší podíl vody. Z finančních důvodů se nevyplácí ji sušit.

Biomasu lze rozdělit do dvou skupin, a to na biomasu pěstovanou pro energetické účely a odpadní biomasu. Biomasa pro energetické účely se vyznačuje snadným výsevem, krátkým obdobím sklizně a vysokým ročním výnosem z osazené plochy. V České republice jsou vhodné zejména topoly, vrby, olše, ale také olejnaté rostliny jako řepka či slunečnice. Do druhé skupiny patří zbytky z rostlinné výroby, odpady ze sadů, z těžby a zpracování dřeva, z rozložitelného a vytrízeného komunálního odpadu. Výhodou tohoto spalování je částečné zbavení se odpadu, pro které již není další využití.

Častým využitím biomasy je její spoluspalování s fosilními palivy. Tato částečná náhrada fosilních paliv biomasou vede ke snížení emisí, obvykle je podíl biomasy v rozmezí 5 – 20 %.

U biochemické přeměny se biomasa zahřívá na určitou teplotu ve vzduchotěsném reaktoru, jedná se zejména o hnůj, zelené rostliny a odpadní vodu z čističek. Při zahřívání vzniká bioplyn, který se později používá například pro spalovací motory.

Mezi výhody biomasy patří příznivá cena, jelikož se jedná o odpad, má nízký obsah emisí a popelovin a dodávka není závislá na zahraničním trhu. Mezi nevýhody patří menší výhřevnost, nutnost skladovacích prostor či citlivost na vlhkost.

Různé části světa mají různou produktivitu biomasy. Ke své produkci potřebují sluneční světlo, CO_2 , vodu a půdní živiny. Produktivita se vyjadřuje v gramech nebo kilogramech na m^2 v suchém stavu. Ukázka různých ekosystémů:

- Moře: 0 – 0,02 kg/m^2
- Ústí řek, močály, útesy: 1 – 10 kg/m^2
- Lesy: 20 – 50 kg/m^2 [19]

4 Zpětné vlivy

Využívání energie z některých obnovitelných zdrojů s sebou nese riziko nežádoucích vlivů na elektrizační soustavu. Tyto nežádoucí jevy jsou dány především nespolehlivou a nestabilní dodávkou elektrické energie z důvodu neočekávaných a nepředvídatelných změn počasí, nejvíce tímto trpí větrné a fotovoltaické elektrárny, které jsou přímo závislé na počasí. Naopak netýká se to spalování biomasy nebo geotermální energie, které jsou z hlediska běžné časové osy relativně stabilní a mají předvídatelný průběh. Zpětné vlivy je třeba omezit, aby nedocházelo k ovlivňování ostatních zařízení provozovatele distribuční soustavy a jednotlivých odběratelů

4.1 Změny napětí

Změna napětí je definována jako změna ke jmenovitému napětí. Jedná se o podpětí nebo přepětí. Tyto změny napětí nejsou v síti žádané, jelikož mohou vést k problémům v síti, například k proudovému přetížení či zkratu a následnému poškození izolace. Povolené změny napětí pro společný napájecí bod v síti nn je $\Delta u_{max,nn} \leq 3 \%$, a pro společný napájecí bod v síti vn a 110 kV je $\Delta u_{max,vn} \leq 2 \%$. [14]

Posuzování odchylek úbytků napětí se zjišťuje minimálně po dobu jednoho měsíce a musí se respektovat specifčnost odběru, například odběr v noci nebo místo měření. Pro správné fungování musí být hodnota alespoň pro 95 % měření v toleranci normální odchylky a nesmí překročit krajní meze. V praxi se používá pojem tvrdost sítě, který hodnotí, jak síť reaguje na změny zatížení. Tvrdá síť má malé změny napětí při změně zatížení a měkká síť má velké změny napětí při změně zatížení. [18]

4.2 Flikr

Jedná se o kolísání napětí způsobené velkou a rychle proměnlivou zátěží, u které se rychle mění jak činný, tak jalový výkon. V případě konstantního zatížení se napětí v čase nemění, jelikož je změna činného a jalového výkonu nulová. Můžou jej vyvolat zdroje spotřebičů, například svářecí agregát, oblouková pec nebo také větrné elektrárny, u kterých flikr vzniká ze dvou příčin, a to jsou vliv poryvů větru a vliv tubusu elektrárny. Flikr působí na člověka změnou světelného toku u světelných zdrojů. Tento jev lze pozorovat pouhým okem jako blikání světla a při dosažení jisté hranice se stává pro člověka nepříjemný.

Flikr se dá popsat dvěma parametry krátkodobá míra flikru P_{st} , která se měří po dobu 10 minut a dlouhodobá míra flikru P_{lt} , která se měří po dobu 120 minut, tyto parametry se také dají popsat jako emise flikru. Pro posouzení normálních provozních podmínek je důležitá dlouhodobá míra vjemu blikání, která ve společném napájecím bodě nn a vn musí dodržet hodnotu $P_{lt} \leq 0,46$ a ve společném bodě 110 kV mezní hodnotu $P_{lt} \leq 0,37$. Dlouhodobá velikost flikru výroby se dá popsat rovnicí

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \quad (4.1)$$

c - je činitel flikru

S_{nE} - je jmenovitý výkon zařízení (u větrné elektrárny S_{nG})

S_{kV} - zkratový výkon ve společném napájecím bodu

4.3 Ovlivnění signálu HDO

HDO neboli hromadné dálkové ovládání je obvykle provozováno na frekvencích v rozmezí 183,3 až 283,3 Hz. Vysílací úroveň bývá obvykle 1,6% až 2,5% U_n . [14]

Tento řídicí systém je schopen dálkově zapínat a vypínat spotřebiče či další elektrická zařízení a také přepínat tarify. Z důvodu nerovnoměrného odběru elektrické energie během dne je výhodné spouštět elektrotepelné spotřebiče v době nízkého odběru, aby došlo k rovnoměrnějšímu rozložení odběru elektrické energie a nevznikaly extrémní špičky minima nebo maxima. Celý tento systém se skládá z centrální automatiky, vysílačů, přenosových cest a přijímačů.

Mezi zařízení, které jsou řízeny HDO patří tepelná čerpadla, klimatizace, akumulární ohřev vody, vytápění a dále také přepínání tarifů nebo ovládání veřejného osvětlení.

Ovlivňování zařízení hromadného dálkového ovládání je způsobeno převážně výrobny a zařízeními pro kompenzaci účinníku. Tyto výroby případně zařízení pro kompenzaci účinníku nesmí snížit úroveň signálu HDO o více než 5 % a to za předpokladu, že bude dodržena přípustná úroveň signálu i po tomto snížení. Pro frekvence v rozsahu 183,3 až 283,3 Hz platí, že minimální úroveň signálu HDO je u nn 150 % U_f , u vn 190 % U_f a u 110 kV 200 % U_f . Kdy U_f je náběhové napětí příjmače, které bývá v rozmezí 0,8 až 0,9 % U_n .

Nejenže signál HDO nesmí být omezován a rušen ostatními zařízeními, ale sám také nesmí produkovat rušivé napětí. Platí, že rušivé napětí vyvolané výrobou či zařízením pro kompenzaci účinníku, které je na stejné nebo podobné frekvenci jako HDO, nesmí překročit hodnotu 0,1 % U_n . U frekvencí, které jsou o 100 Hz nad nebo pod frekvencí HDO, toto rušivé napětí nesmí překročit 0,3 % U_n . Tento předpoklad platí pro síť nn, ve které jsou připojeny maximálně dvě výroby, pokud je vyroben více, vychází se z jiných výpočtů. Při zavedení výroby do provozu musí provozovatel naměřit a předložit výsledky impedance výroby na frekvenci HDO, kterým se prokáže její vliv na HDO. Pokud výroba ovlivňuje zařízení HDO nebo se to prokáže v budoucím čase, musí provozovatel toto rušení odstranit.

Větrné elektrárny, kogenerační jednotky, turbogenerátory atp., které mají charakter točivých strojů, z hlediska impedancí na frekvenci HDO musí být vybaveny hradičím členem při instalovaném výkonu vyšším než 1 MW. Lze udělit výjimku pouze při zpracování připojovací studie a následného změření vlivu na HDO. [14]

4.4 Zkratové poměry

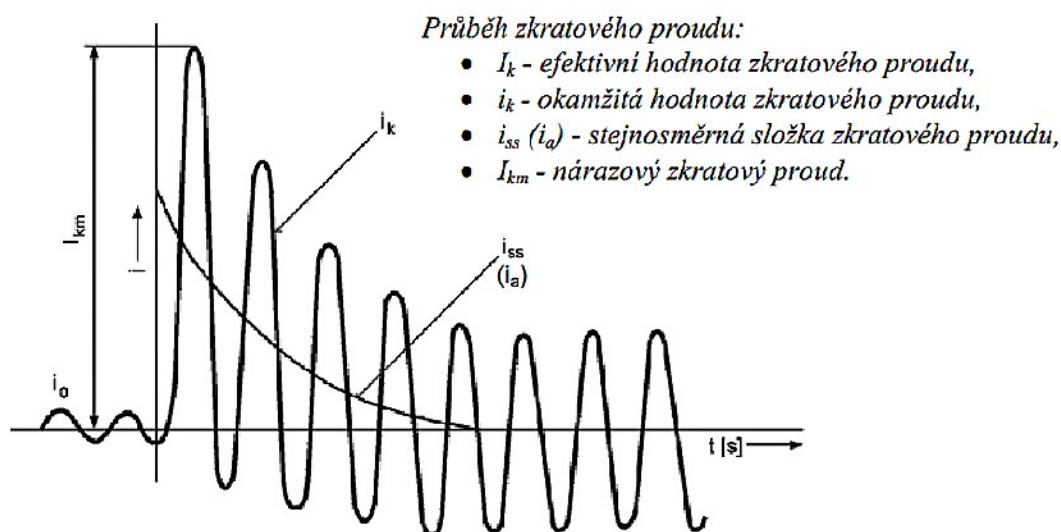
Výpočet zkratových poměrů je důležitý pro dimenzování elektrického vedení, rozvodných zařízení či pro volbu ochran, které chrání před zkratem. Zkrat je vodivé spojení různých fází elektrizační soustavy nebo spojení fáze se zemí u soustavy s uzemněným uzlem. Mezi nejčastější příčiny zkratu patří porušení izolace, špatné dimenzování na tepelné nebo mechanické namáhání, chybné manipulování nebo úder blesku.

Zkrat je nejčastěji se vyskytující porucha v elektrizační soustavě. Jedná se o přechodný děj, při kterém sledujeme jeho počáteční zkratový proud, nárazový zkratový proud, vypínací zkratový proud, ekvivalentní oteplovací proud a ustálený zkratový proud. Mezi následky zkratu patří zvýšené tepelné působení vodiče, což může vést ke zničení izolace, mechanické namáhání, které je způsobeno průchodem zkratového proudu, pokles napětí nebo také ohrožení stability celé soustavy. Vlivem velkého

zkratového proudu dojde k porušení rovnováhy mezi magnetickým a elektrickým polem a do rovnováhy přechází soustava přechodnými složkami proudu a napětí.

Průběh zkratového proudu závisí na době vzniku zkratu a mohou nastat dvě krajní situace:

- Zkrat vznikne v době, kdy sinusové napětí prochází maximem a zkratový proud tak vychází z nuly. Tato situace je příznivější, jelikož vznikne pouze souměrná střídavá složka, zatímco stejnosměrná složka ne.
- Zkrat vznikne, když napětí prochází nulou a zkratový proud tak začíná ve svém maximu. Vznikne střídavá i stejnosměrná složka a výsledný zkratový proud je dán součtem střídavých a stejnosměrných složek.



Obrázek 4-1 – Průběh zkratového proudu [22]

Zkrat můžeme rozdělit dle:

a) počtu spojených fází:

- souměrný trojfázový
- souměrný trojfázový se zemí
- nesouměrný dvoufázový
- nesouměrný dvoufázový se zemí
- nesouměrný jednofázový

b) přechodového odporu v místě zkratu:

- dokonalý – kdy je přechodový odpor v místě zkratu nulový, zkratový proud je větší než u nedokonalého
- nedokonalý – zkrat se vytvoří přes impedanci, která se musí brát v potaz, toto místo se silně zahřívá a může začít hořet oblouk

U venkovních vedení se nejčastěji setkáme s nesouměrným zkratem, ale pro posouzení zkratových poměrů je důležitý trojfázový zkrat. Z jeho analýzy lze také určit souslednou složku u nesouměrných

zkratů. Jednofázový zkrat způsobuje největší rušení. U kabelového vedení se naopak nejčastěji setkáme se souměrným zkratem, jelikož oblouk spálí izolaci všech kabelů.

4.5 Harmonické proudy

Harmonickou složkou je v oblasti elektrotechniky myšlena složka napětí nebo proudu. Tyto harmonické složky rozkládají deformovanou sinusovku na jednotlivé průběhy, jelikož každý periodický průběh je možno rozložit na součet sinusových průběhů. Tyto sinusové průběhy mají frekvenci, která je převážně lichým násobkem základní frekvence, tzn. při základní frekvenci 50 Hz je třetí harmonická 150 Hz.

Harmonické složky vznikají především díky nelineárním spotřebičům v síti, mezi které patří střídače či měniče frekvence, které zatěžují síť zkresleným jalovým výkonem. O harmonických a mezharmionických proudech musí informovat výrobce například zprávou o typové zkoušce. Tyto harmonické proudy zatěžují síť, což může vést až k poškození kompenzačních stanic, snižují spolehlivost a životnost spotřebičů připojených k síti, způsobují rušení, přehřívají transformátory a zatěžují střední vodič. Harmonické složky se dají redukovat použitím tlumivky, která vyhladí proud odebíraný ze sítě a tím sníží zpětné vlivy na síť nebo využitím aktivních či pasivních filtrů.

Pro označení velikosti zkreslení sinusového signálu se používá veličina THD (total harmonic distortion – celkové harmonické zkreslení), tato hodnota je udávána v procentech a je definována jako poměr součtu všech harmonických složek k výkonu základní harmonické složky. Čím nižší je tato hodnota, tím je signál věrnější.

Výrobny musí splňovat maximální emise harmonických proudů podle normy ČSN EN 61000-4-7, která se zabývá elektromagnetickou kompatibilitou (EMC). Pokud jsou emise výroby v mezích daných touto normou, lze brát jejich vliv na síť distribuční soustavy jako přípustný (tabulka 4.1, 4.2 a 4.3).

4.5.1 Pro výroby v síti nn

Pokud výroba nesplňuje požadavky na velikost povolených emisí harmonických proudů, může se pro mezní hodnoty použít následující rovnice:

$$I_{vnn} = i_{vnn} \cdot \frac{S_{kV}}{\sin \psi_{kV}} \quad (4.2)$$

I_{vnn} – přípustný proud

i_{vnn} – mezní vztažný proud z tabulky 4-1

S_{kV} – zkratový výkon sítě

$\sin \psi_{kV} = \frac{X_k}{Z_k}$ – sinus úhlu impedance soustavy v místě připojení

Tab. 4-2 Velikost vztažných proudů v závislosti na harmonických pro výpočet maximálních emisí v sítích nn [13]

řád harmonické v (-)	i_{vnn} (A/MVA)
3	3
5	1,5
7	1
9	0,7
11	0,5
13	0,4
17	0,3
19	0,25
23	0,2
25	0,15
25 < v < 40 liché	0,15.25/v
sudé	1,5/v
v < 178	4,5/v

Tento výpočet lze provést pouze pokud společný napájecí bod není v síti vn.

4.5.2 Výrobní v síti vn

Jestliže je v síti pouze jediné předávací místo, lze určit celkový přípustný harmonický proud následujícím výpočtem:

$$I_{vvn} = i_{vvn} \cdot S_{kV} \quad (4.3)$$

Pokud je připojeno několik zařízení ve společném napájecím bodě, musí se určit přípustné harmonické proudy pro jednotlivá zařízení. Když se zařízení skládá z elektráren stejného typu, lze místo S_A dosadit $\sum S_{nE}$, platí také u větrných elektráren, avšak pokud se skládá z různých typů, velikost se pouze odhaduje.

$$I_{vvn} = i_{vvn} \cdot S_{kV} \frac{S_A}{S_{AV}} \quad (4.4)$$

S_{AV} – celkový připojitelný nebo plánovaný výkon

Velikost vztažných proudů pro výpočet maximálních emisí v síti vn je uveden v tabulce 4-2.

Tab. 4-3 Velikost vztažných proudů v závislosti na harmonických pro výpočet maximálních emisí v sítích vn [13]

řád harmonické v (-)	i_{vnn} (A/MVA)		
	10 kV	22 kV	35 kV
5	0,115	0,058	0,033
7	0,082	0,041	0,023
11	0,052	0,026	0,015
13	0,038	0,019	0,011
17	0,022	0,011	0,006
19	0,016	0,009	0,005
23	0,012	0,006	0,003
25	0,010	0,005	0,003
>25 nebo sudé	0,06/v	0,03/v	0,017/v

4.5.3 Výrobny v síti 110 kV

Pro zařízení, která jsou připojena do jednoho vedení 110 kV nebo do jedné transformovny, platí následující tabulka 4.3 vztažných proudů. Pro výpočet maximálních povolených hodnot velikosti harmonického proudu lze využít vzorec:

$$I_{v110kV} = i_{v110kV} \cdot S_{kV} \quad (4.5)$$

Tab. 4-4 Velikost vztažných proudů v závislosti na harmonických pro výpočet maximálních emisí v sítích 110 kV [13]

řád harmonické v (-)	i_{v100kV} (A/GVA)
5	2,60
7	3,75
11	2,40
13	1,60
17	0,92
19	0,70
23	0,46
25	0,32
>25 a sudé	5,25/v

5 Limity připojitelnosti

Pro připojení výrobní elektrické energie do sítě nn, vn nebo 110 kV je nutné splnit pravidla a podmínky provozovatele distribuční soustavy. Provozovatel přenosové nebo distribuční soustavy má právo si vyžádat od žadatele studii připojitelnosti. Tato studie obsahuje posouzení připojení výrobní do soustavy podle pravidel provozovatele, jedná se o:

- napětíové poměry ve všech posuzovaných uzlech sítě
- zatížitelnost jednotlivých prvků sítě
- dodržení parametrů zpětných vlivů na distribuční soustavu
- dodržení požadavků dynamické podpory [15]

Následně provozovatel vyhodnocuje žádost o připojení s ohledem na:

- místo a způsob požadovaného připojení,
- velikost požadovaného rezervovaného příkonu nebo výkonu a časový průběh zatížení,
- spolehlivost dodávky elektřiny,
- charakter zpětného působení zařízení žadatele na přenosovou nebo distribuční soustavu,
- plánovaný rozvoj soustavy,
- pořadí podaných žádostí,
- limity připojitelného výkonu do elektrizační soustavy stanovené provozovatelem přenosové soustavy,
- velikost instalovaného výkonu výrobní
- povinnost přednostně připojit výrobní elektřinu z podporovaného zdroje k přenosové nebo distribuční soustavě podle zákona o podporovaných zdrojích energie

Výrobní se musí podílet na podpoře sítě udržováním napětí. Rozlišujeme dvě podpory, a to statickou a dynamickou. Tato podpora je automaticky řízena ve výrobně.

Statickou podporou se rozumí udržování napětí ve smluvně dohodnutých mezích při normálním provozu s pomalejšími změnami napětí.

U dynamické podpory musí výrobní udržet napětí při poklesech v síti vvn a zvn a zamezit tak rozpadu sítě, který by vznikl odpojováním výroben, které napájí vn. Při dynamické podpoře musí výrobní být připojena i během poruchy v síti, například při zkratu, a musí zachovat dohodnuté meze:

- musí zůstat v síti při poklesu napětí mezi 100 a 70 % jmenovitého napětí v přípojném bodě s trváním do 0,7 s
- když napětí poklesne pod 30 % jmenovitého napětí s trváním do 150 ms, musí zůstat v síti, avšak pokud setrvání není z technických důvodů možné, může se po dohodě s provozovatelem distribuční soustavy odpojit [14]

Připojení elektrárny do sítě lze rozdělit na tři způsoby:

- a) připojení do rozvodů v objektu – většina vyrobené elektrické energie se spotřebuje v místě, kde se vyrobí a případný přebytek se prodá do distribuční soustavy
- b) přímé připojení na síť – všechna elektřina se prodává do distribuční soustavy
- c) ostrovní provoz – elektrárna je zcela oddělena od distribuční soustavy a veškerá vyrobená energie je spotřebována přímo v místě výroby

5.1 Regulace činného výkonu

Výrobná připojená do distribuční sítě musí být schopna reagovat na změnu frekvence v síti a podle poměrů v síti a povelů z dispečinku regulovat činný výkon, anebo se ze soustavy odpojit. Výrobná tak musí umožňovat provoz i při sníženém činném výkonu, dokonce musí být zajištěna možnost snížit činný výkon na hodnotu 0 %, aniž by došlo k automatickému odpojení ze sítě. V následujících případech má právo provozovatel distribuční soustavy omezit činný výkon nebo odpojit výrobní ze soustavy:

- ohrožení bezpečného provozu sítě (předcházení stavu nouze)
- nebezpečí vzniku ostrovního provozu
- ohrožení statické nebo dynamické stability
- vzrůst frekvence
- údržba
- nebezpečí přetížení sítě

Pokud se frekvence sítě vrátí opět na hodnotu $f_s \leq 50,2 \text{ Hz}$, činný výkon může být zvyšován.

5.2 Změny napětí

Zavlečení zpětného napětí do sítě provozovatele distribuční soustavy je nutno zabránit takovým opatřením, kdy připojení vlastní elektrárny je možné, pouze pokud jsou všechny fáze sítě pod napětím.

Zvýšené napětí ostatních výroben při normálním provozu nesmí překročit 2 % pro výrobní, které jsou připojeny do sítě vn a 110kV v porovnání s napětím bez jejich připojení. U výroben, které jsou připojeny do nn nesmí překročit 3 %.

Změny napětí způsobené připojováním a odpojováním jednotlivých výroben nesmí překročit v síti vn $\Delta u_{max,vn} \leq 2 \%$ a v síti nn $\Delta u_{max,nn} \leq 3 \%$. Výše uvedené hodnoty platí, pouze pokud spínání není častější než jednou za 90 sekund. Pokud spínání není tak časté a opakuje se například jednou za den, může provozovatel distribuční soustavy povolit větší změny napětí, jestliže to umožní poměry v síti. [14]

5.3 Připojení synchronního generátoru

Pro připojení synchronního generátoru k síti je důležité dodržet hned několik podmínek. Tyto podmínky jsou důležité, aby v síti nedocházelo k proudovým rázům, které by mohly ovlivnit zbytek sítě. Podmínky přifázování synchronních generátorů:

1. Rozdíl napětí stroje a sítě musí být v povolených mezích $\Delta U < \pm 10 \% U_n$. Toto napětí se měří připojením voltmetru na stroj i k síti. Napětí stroje lze regulovat budícím proudem. Pokud by tato podmínka nebyla splněna, projeví se to při spuštění jako náraz jalového proudu.
2. Frekvence generátoru a sítě, kontrolována frekventoměrem, může mít maximální rozdíl $\Delta f < \pm 0,5 \text{ Hz}$. Odchytky způsobují nárazy činného proudu, jelikož rotor alternátoru se musí zpomalit nebo zrychlit, záleží na tom, je-li frekvence stroje nižší nebo vyšší než frekvence sítě.
3. Rozdíl fází napětí sítě a generátoru musí být menší než $\pm 10^\circ$.
4. Musí být splněna podmínka, že sled fází generátoru a sítě je stejný.

5.4 Připojení asynchronního generátoru

Asynchronní generátory, které jsou rozbíhány pohonem, musí být připojeny bez napětí a roztočeny na otáčky v mezích 95 až 105 % synchronních otáček. Asynchronní generátory schopné ostrovního režimu musí mít zdroj jalové energie, což může být například kondenzátorová baterie připojena paralelně ke generátoru. U asynchronních generátorů, které mohou pracovat v ostrovním režimu a které nejsou připojovány bez napětí, je nutné dodržet shodné podmínky jako u synchronních generátorů.

5.5 Připojení elektráren se střídači

Střídače mohou být sepnuty pouze za podmínky, když je jejich střídavá strana bez napětí. Pro elektrárny, které jsou schopny ostrovního provozu a nejsou spínány bez napětí, platí stejné podmínky jako u připojení synchronních generátorů.

5.6 Obnovitelné zdroje připojené do distribuční soustavy

Výrobní s obnovitelnými zdroji připojené do sítě 110 kV s výkonem nad 15 MW mají jisté požadavky, které mají za úkol chránit před výpadky zdrojů, podporovat síť při poklesech napětí a reagovat na pokles kmitočtu. Celkový výkon elektrárny se určí jako součet všech jednotlivých výroben v jednom bodě, např. výkon větrné farmy je dán součtem všech větrných elektráren v dané farmě.

Elektrárny využívající obnovitelné zdroje musí být schopny redukovat svůj výstupní výkon na hodnotu zadanou provozovatelem v rychlosti 10 % přípojného výkonu za minutu, a zároveň nesmí dojít k odpojení od soustavy. Tato podmínka je důležitá pro správné fungování sítě.

Tyto elektrárny mají výjimku, jelikož mohou být zbaveny povinnosti primární regulace. Tato regulace je automaticky řízená funkce, která spočívá ve změně výkonu elektrárny v závislosti na rozdílu frekvence sítě. Záloha musí být aktivována do 30 sekund od vzniku nerovnováhy.

6 Příklad výpočtu

Praktická část bakalářské práce se zabývá posouzení vlivu OZE na vedení 22 kV. Tento zdroj může představovat fotovoltaickou nebo větrnou elektrárnu. Výpočtem se ověří, jestli se připojením OZE do vedení nezvýší maximální povolený úbytek v síti.

Parametry vedení

Vedení je tvořeno hliníkovým lanem s ocelovou duší AlFe6, s následujícími parametry:

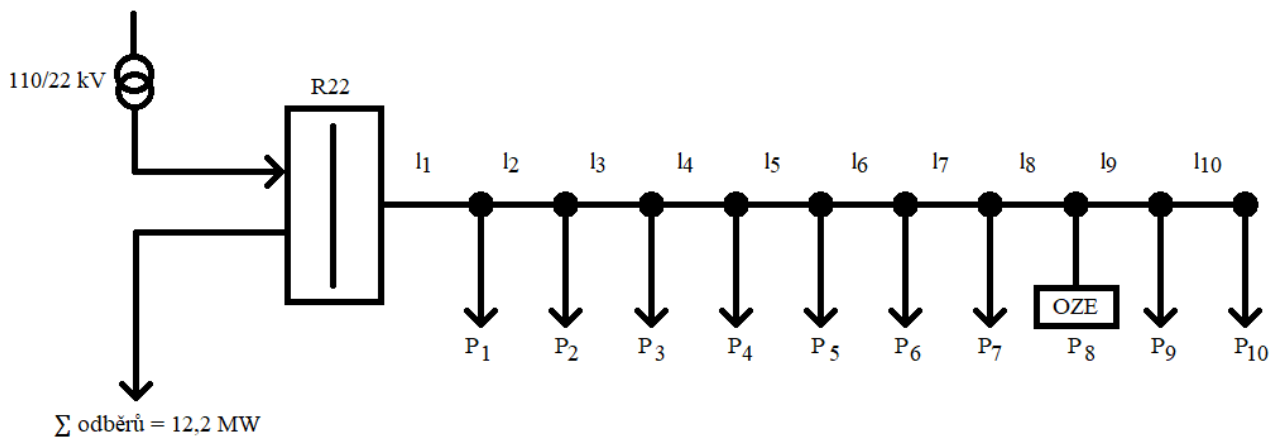
$S = 120 \text{ mm}^2$	Jmenovitý průřez
$d = 15,65 \text{ mm}$	Průměr lana
$m = 509,2 \text{ kg}$	Hmotnost na 1 km délky
$R_v = 0,234 \Omega$	Největší odpor na 1 km délky
$X_v = 0,35 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$	Reaktance vedení

Rozvodna R22 má napětí 22,5 kV

Parametry výroby

$P_8 = 0,8 \text{ MW}$

$\cos \varphi_8 = 1$



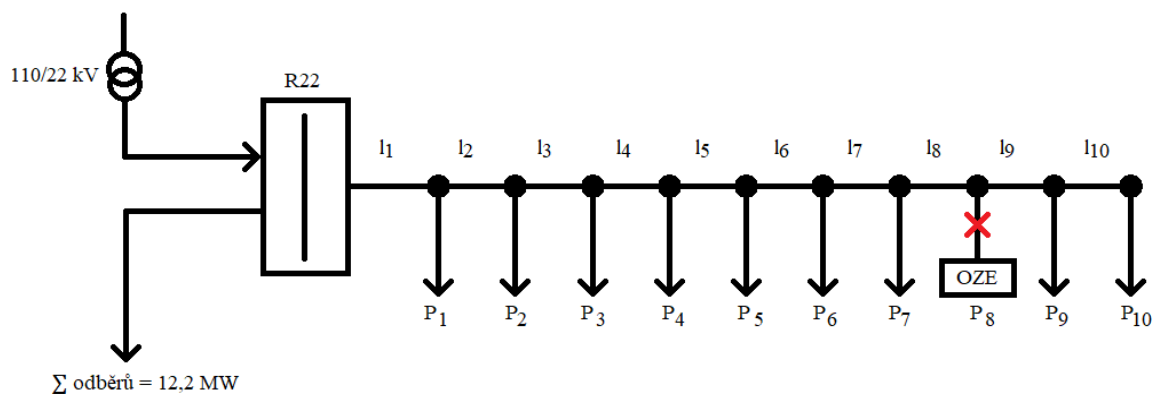
Obrázek 6-1 – Schéma vedení s OZE

Parametry jednotlivých odběrů:

$P_1 = 0,350 \text{ MW}$	$\cos \varphi_1 = 0,92$	$l_1 = 1,5 \text{ km}$
$P_2 = 0,582 \text{ MW}$	$\cos \varphi_2 = 0,89$	$l_2 = 3,7 \text{ km}$
$P_3 = 0,425 \text{ MW}$	$\cos \varphi_3 = 0,93$	$l_3 = 4,2 \text{ km}$
$P_4 = 0,493 \text{ MW}$	$\cos \varphi_4 = 0,94$	$l_4 = 1,8 \text{ km}$
$P_5 = 0,530 \text{ MW}$	$\cos \varphi_5 = 0,88$	$l_5 = 2,5 \text{ km}$
$P_6 = 0,356 \text{ MW}$	$\cos \varphi_6 = 0,90$	$l_6 = 3,3 \text{ km}$
$P_7 = 0,235 \text{ MW}$	$\cos \varphi_7 = 0,91$	$l_7 = 2,1 \text{ km}$
$P_8 = 0,800 \text{ MW}$	$\cos \varphi_8 = 1$	$l_8 = 1,5 \text{ km}$
$P_9 = 0,648 \text{ MW}$	$\cos \varphi_9 = 0,89$	$l_9 = 2,2 \text{ km}$
$P_{10} = 0,450 \text{ MW}$	$\cos \varphi_{10} = 0,93$	$l_{10} = 2,6 \text{ km}$

6.1 Výpočet vedení bez připojeného OZE

Nejprve se vypočte vedení bez připojeného OZE, které je znázorněno obrázkem 6-2. Nejdříve je potřeba vypočítat činnou a jalovou složku proudu, podle vzorce (6.1) a (6.2). Příklad výpočtu je uveden rovnicí (6.3) a (6.4). Ostatní proudy jsou znázorněny v tabulce 6.1.



Obrázek 6-2 Vedení bez zapojeného OZE

$$I_{\text{č}n} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_s} \quad (6.1)$$

$$I_{jn} = I_{\text{č}n} \cdot \tan \varphi_n \quad (6.2)$$

$$I_{\text{č}1} = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_s} = \frac{350000}{\sqrt{3} \cdot 22000} = 9,19 \text{ A} \quad (6.3)$$

$$I_{j1} = I_{\text{č}1} \cdot \tan \varphi_1 = 9,185 \cdot \tan(23,08) = 3,95 \text{ A} \quad (6.4)$$

Tab. 6-1 Hodnoty činných a jalových proudů jednotlivých odběrů bez OZE

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_{\zeta n}$ [A]	9,19	15,3	11,2	12,9	13,9	9,34	6,17	0	17	11,8
I_{jn} [A]	3,95	7,79	4,35	4,66	7,51	4,48	2,84	0	8,67	4,72

Pro výpočet činných a jalových proudů v jednotlivých úsecích (tab. 6-2) se bude postupovat výpočtem pro vedení napájené z jedné strany. Tudíž se budou sčítat jednotlivé složky od konce vedení směrem k rozvodně. Hodnota odebíraného proudu v odběru číslo 8 je rovna nule, protože OZE není připojen do vedení.

Tab. 6-2 Hodnoty činných a jalových proudů jednotlivých úseků bez OZE

l	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_{\zeta l}$ [A]	106	97,6	82,3	71,2	58,2	44,3	35	28,8	28,8	11,8
I_{jl} [A]	49,1	45,1	37,2	32,9	28,2	20,7	16,2	13,4	13,4	4,72

Následně se vypočte odpor a indukčnost jednotlivých úseků. Hodnota odporu na kilometr je $R_v = 0,234 \Omega$ a reaktance $X_v = 0,35 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$, jedná se o katalogové hodnoty pro vedení AlFe 6. Pro výpočet odporu a reaktance úseků musíme tyto čísla vynásobit délkou úseku l. Základní vzorce představují rovnice (6.5) a (6.6) a příklad výpočtu (6.7), (6.8). Všechny odpory a reaktance se nachází v tabulce 6-3.

$$R_l = R_v \cdot l_n \quad (6.5)$$

$$X_l = X_v \cdot l_n \quad (6.6)$$

$$R_1 = R_v \cdot l_1 = 0,234 \cdot 1,5 = 0,35 \Omega \quad (6.7)$$

$$X_1 = X_v \cdot l_1 = 0,35 \cdot 1,5 = 0,523 \Omega \quad (6.8)$$

Tab. 6-3 Odpor a reaktance jednotlivých úseků bez OZE

l	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_l [Ω]	0,35	0,87	0,98	0,42	0,59	0,77	0,49	0,35	0,51	0,61
X_l [Ω]	0,53	1,30	1,47	0,63	0,88	1,16	0,74	0,53	0,77	0,91

Dalším krokem bude výpočet úbytků napětí v jednotlivých úsecích vedení. Výpočet vychází ze základní rovnice (6.9) dále se nachází příklad výpočtu s dosazenými hodnotami (6.10). V tabulce 6-3 jsou uvedeny zbylé úbytky.

$$\Delta U_l = R_l \cdot I_{\zeta l} + X_l \cdot I_{jl} \quad (6.9)$$

$$\Delta U_1 = R_1 \cdot I_{\zeta 1} + X_1 \cdot I_{j1} = 0,35 \cdot 106 + 0,53 \cdot 49,1 = 63,2 V \quad (6.10)$$

Tab. 6-4 Úbytek napětí jednotlivých úseků vedení bez připojeného OZE

1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΔU_l [V]	63,2	142	135	50,7	58,8	58,2	29,1	17,1	25,1	11,4

Celkový úbytek napětí (6.11) celého vedení je roven součtu jednotlivých úbytku ve vedení. Příklad výpočtu v rovnici (6.12).

$$\Delta U_{celk_bez_OZE} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_6 + \Delta U_7 + \Delta U_8 + \Delta U_9 + \Delta U_{10} \quad (6.11)$$

$$\Delta U_{celk_bez_OZE} = 63,2 + 142 + 135 + 50,7 + 58,8 + 58,2 + 29,1 + 17,1 + 25,1 + 11,4 = 592 \text{ V} \quad (6.12)$$

Dovolený úbytek napětí ve vedení 22 kV je 5 %. Ověření podmínky rovnicí (6.13).

$$\Delta U_{dov} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot \frac{5}{100} = \frac{22000}{\sqrt{3}} \cdot \frac{5}{100} = 635 \text{ V} \quad (6.13)$$

Celkový úbytek napětí ve vedení vyšel $\Delta U_{celk_bez_OZE} = 592 \text{ V}$ a maximální povolený úbytek je $\Delta U_{dov} = 635 \text{ V}$, což značí, že vedení splnilo podmínku $\Delta U_{dov} > \Delta U_{celk_bez_OZE}$. Pro pozdější připojení OZE do vedení je potřeba znát úbytek napětí přesně v místě připojení. Ten se vypočte rovnicí (6.14).

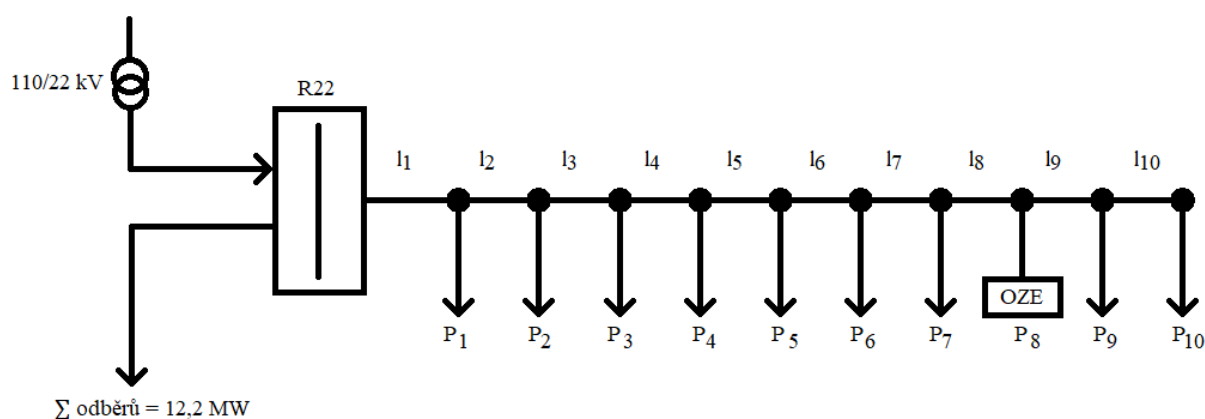
$$\Delta U_{8_bez_OZE} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_6 + \Delta U_7 + \Delta U_8 = 63,2 + 142 + 135 + 50,7 + 58,8 + 58,2 + 29,1 + 17,1 = 555 \text{ V} \quad (6.14)$$

Napětí v místě připojení vyjádříme rovnicí (6.15).

$$U_{8_bez_OZE} = \frac{U_s}{\sqrt{3}} - \Delta U_{8_bez_OZE} = \frac{22000}{\sqrt{3}} - 555 = 12\,146 \text{ V} \quad (6.15)$$

6.2 Výpočet vedení s připojeným OZE

Postup výpočtu budou použity stejné rovnice (6.1), (6.2) jako v případě bez OZE, akorát bude připojena výrobná, dle schéma v obrázku 6-3, s parametry $P_8 = 0,8 \text{ MW}$ a $\cos \varphi_8 = 1$. Tato výrobná bude do vedení dodávat proud, a proto bude její proud (tabulka 6-5) značen záporným znaménkem. Příklad výpočtu proudu pro výrobnou je znázorněn rovnicemi (6.16) a (6.17)



Obrázek 6-3 Vedení 22 kV s připojeným OZE

$$I_{\zeta 8} = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_s} = \frac{800000}{\sqrt{3} \cdot 22000} = 20,9 \text{ A} \quad (6.16)$$

$$I_{j8} = I_{\zeta 8} \cdot \operatorname{tg} \varphi_8 = -21,1 \cdot \operatorname{tg}(0) = 0 \text{ A} \quad (6.17)$$

Tab. 6-5 Hodnoty činných a jalových proudů jednotlivých odběrů s OZE

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_{\zeta n}$ [A]	9,19	15,3	11,2	12,9	13,9	9,33	6,17	-20,9	17,1	11,8
I_{jn} [A]	3,91	7,83	4,41	4,71	7,51	4,53	2,81	0	8,71	4,72

Následně opět sečteme proudy od konce vedení směrem k rozvodně, abychom dostali proudy v jednotlivých úsecích. Jediná změna je záporný činný proud v bodě $n = 8$. Proudů v jednotlivých úsecích jsou zaznačeny v tabulce 6-6.

Tab. 6-6 Činné a jalové proudy jednotlivých úseků s OZE

l	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_{\zeta l}$ [A]	85,8	76,6	61,3	50,2	37,2	23,3	13,9	7,82	28,8	11,8
I_{jl} [A]	49,1	45,2	37,3	32,9	28,2	20,7	16,2	13,4	13,4	4,72

Dále potřebujeme hodnoty odporů a reaktancí jednotlivých úseků vedení, které se vypočtou rovnicemi (6.5), (6.6). Tyto hodnoty se nezměnily, jelikož vedení zůstalo stejné. Proto použijeme hodnoty z tabulky 6-3, pro výpočet úbytků napětí jednotlivých úseků, rovnice (6.9). Příklad výpočtu rovnice (6.18). Všechny úbytky v tabulce 6-7.

$$\Delta U_1 = R_1 \cdot I_{\zeta 1} + X_1 \cdot I_{j1} = 0,351 \cdot 85,8 + 0,525 \cdot 49,1 = 55,9 \text{ V} \quad (6.18)$$

1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΔU_l [V]	55,9	124	115	41,9	46,5	41,9	18,8	9,77	21,14	11,4

Celkový úbytek napětí ve vedení s získá součtem jednotlivých úbytků, podle rovnice (6.19).

$$\Delta U_{celk_s_OZE} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_6 + \Delta U_7 + \Delta U_8 + \Delta U_9 + \Delta U_{10} = 55,9 + 124 + 115 + 41,9 + 46,5 + 41,9 + 18,8 + 9,77 + 21,14 + 11,4 = 491 \text{ V} \quad (6.19)$$

Nyní musíme zjistit úbytek napětí v místě připojení OZE (6.20) a hodnotu napětí v tomto místě (6.21).

$$\Delta U_{8_s_OZE} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_6 + \Delta U_7 + \Delta U_8 = 55,9 + 124 + 115 + 41,9 + 46,5 + 41,9 + 18,8 + 9,77 = 455 \text{ V} \quad (6.20)$$

$$U_{8_s_OZE} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} - \Delta U_{8_s_OZE} = \frac{22000}{\sqrt{3}} - 455 = 12\,247 \text{ V} \quad (6.21)$$

Podle pravidel o limitech připojitelnosti nesmí připojení OZE do sítě vn zvýšit napětí ve vedení o 2 % v porovnání s napětím ve vedení před jejich připojením. Ověření rovnicí (6.22)

$$U_{dov} = \frac{U_{8_bez_OZE}}{100} \cdot 102 = \frac{12146}{100} \cdot 102 = 12\,388 \text{ V} \quad (6.22)$$

Hodnota napětí v místě připojení OZE je $U_{8_s_OZE} = 12\,247 \text{ V}$ a maximální povolené napětí $U_{dov} = 12\,388 \text{ V}$. Podmínka připojení byla splněna a OZE může být připojený do modelového vedení.

6.3 Posouzení připojení OZE do vedení

Cíl praktické části byl posoudit vliv připojení OZE do distribuční soustavy z hlediska změny napětí v síti. Parametry výroby byly $P_8 = 0,800 \text{ MW}$ a $\cos \varphi_8 = 1$. Nejdříve se muselo vypočítat vedení bez připojené elektrárny. Zjistit velikost činného a jalového proudu a následně postupovat jako při výpočtu vedení napájeného z jedné strany, dále potom zjistit odpory a reaktance jednotlivých úseků vedení. Z těchto hodnot se vypočetly úbytky odběrů a součtem nich úbytek celého vedení. Muselo se ověřit, zda celkový úbytek nepřesahuje dovolených 5 %. A zjistit velikost napětí v místě budoucího připojení výroby, pro pozdější ověření, zda elektrárna nepřesahuje dovolené meze zvýšení napětí. V druhé části se počítá vedení stejný způsobem jako v první části, avšak výroba je připojena do vedení a dodává do sítě činný proud. Po dopočítání až k celkovému úbytku napětí se musí zjistit hodnota napětí v místě připojení elektrárny, které poté porovnáme s napětím, které v místě bylo před jejím připojením. Napětí se nesmí zvýšit o více než 2 %, a když porovnáme dovolené napětí ($U_{dov} = 12\,388 \text{ V}$) s napětím, které je v místě připojení ($U_{8_s_OZE} = 12\,247 \text{ V}$) vidíme, že je podmínka splněna a elektrárna tak může být připojena do sítě. Pokud by zvýšené napětí bylo větší než maximální a podmínka tak nebyla splněna, muselo by dojít ke zmenšení výkonu OZE.

7 Závěr

Účelem této práce bylo shrnout poznatky o obnovitelných zdrojích. Na začátku práce byl vysvětlen princip fungování distribuční a přenosové soustavy. Byl popsán přenos elektrické energie z místa výroby, který většinou vede přes více napěťových hladin. Dále je popsáno, jak se přenáší elektrická energie v různých napěťových hladinách, jaké se používají druhy vedení, transformátory a jaké existují druhy sítí. Jsou zde také vypsáni všichni provozovatelé distribuční soustavy v České republice, rozdělení jejich území a porovnání délek jejich vedení.

Další část práce se věnovala již samotným obnovitelným zdrojům. Hlavní úkol této části byl přinést ucelený pohled na obnovitelné zdroje, popsat princip výroby jednotlivých zdrojů, uvést příklady z reálného využití a ukázat jejich výhody a nevýhody. Cílem této práce bylo zaměřit se i na méně známé nedostatky obnovitelných zdrojů, mezi které patří např. problém s recyklací starých větrných elektráren nebo fotovoltaických panelů. Dále také větrné elektrárny mohou způsobovat míšení tepla a vlhkosti v atmosféře, což může vést ke zhoršení klimatu a oteplování vzduchu. Pro ptáky představují točící se listy rotorů větrných elektráren nepřírozeného predátora, což vede k úbytku ptáků v lokalitě s větrnými farmami a k následnému navýšení počtů a změně chování jejich přirozené potravy, nejčastěji plazy. Mezi známé nepříznivé vlastnosti obnovitelných zdrojů patří jejich nespolehlivost, jelikož jsou z velké části přímo závislé na počasí.

Mezi klady obnovitelných zdrojů patří, že dnes může mít doma téměř každý svou malou elektrárnu, která je poháněna obnovitelným zdrojem a to větrem, vodou anebo Sluncem. Díky moderním technologiím a chytrým ovládaním domácnosti nám dokonce dokážou šetřit peníze, jednak prodejem přebytečné energie zpět do sítě a jednak samostatným zapínáním spotřebičů v nejprůhodnější chvíli. Na příklad spuštění myčky v době, kdy svítí Slunce a fotovoltaický panel na střeše vyrábí elektrickou energii. Mezi takzvané zelené zdroje energie patří i vodní elektrárny, které jsou důležitou součástí výroby elektrické energie. Dokážou najet na plný výkon během desítek vteřin a jsou tak skvělým pomocníkem při nedostatku elektrické energie v síti, jedná se zejména o přečerpávací vodní elektrárny. Naopak při přebytku energie v síti spotřebovávají tuto energii přečerpáváním vody ze spodní nádrže do horní.

V další kapitole je věnována pozornost nepříznivým zpětným vlivům do sítě, které mohou způsobovat elektrárny z obnovitelných zdrojů svou nepředvídatelností výroby. Mezi nežádoucí zpětné vlivy patří změny napětí, které může vést až k poškození sítě, dále ovlivnění signálu HDO a k flikru, který je způsoben velkou a rychle měnící se zátěží, což můžou vyvolat například svářecí agregáty, ale taky větrné elektrárny. Flikr se projevuje změnou světelného toku u světelných zdrojů a lze jej pozorovat pouhým okem jako blikající světlo a při dosažení jisté hranice působí pro člověka velmi rušivě.

Poslední teoretická část se zabývala limity připojitelnosti, které jsou velmi důležité z důvodů připojení výroby do sítě a jejímu správnému chodu. Pro připojení výroby do sítě musí žadatel splnit podmínky provozovatele sítě, aby nedošlo k jejímu rozpadu. Provozovatel má právo si vyžádat od žadatele studii připojitelnosti, která obsahuje informace o výrobě, a to její napěťové poměry ve všech uzlech, zatížitelnost jednotlivých prvků sítě, zpětné vlivy na distribuční soustavu a dodržení požadavku na dynamickou podporu. Následně provozovatel vyhodnotí žádost mimo jiné i na základě místa a způsobu připojení, velikosti výkonu a spolehlivosti sítě. Dále mají výrobny již připojené povinnosti pomáhat ke správnému chodu celé soustavy, musí být schopny regulovat svůj činný výkon při změnách frekvence, zabránit zavlečení zpětného napětí do sítě a chránit před výpadky zdrojů. Obnovitelné zdroje energie mají výjimku, díky které jsou zbaveny povinnosti primární regulace, ale při příkazu od operátora

musí být schopny regulovat výstupní výkon na požadovanou hodnotu rychlostí 10 % připojeného výkonu za minutu.

V praktické části bylo posouzeno připojení zdroje z obnovitelné energie do distribuční soustavy a jeho vliv na soustavu z hlediska změny napětí v síti. Výpočet nám ukázal, že v modelovém vedení vlivem připojení výroby nedochází k větší změně napětí, než je povoleno a elektrárna tak splnila jednu z podmínek k připojení do sítě. Pokud by změna napětí byla vyšší, musel by se zmenšit výkon výroby.

Kvůli nutnosti snížit produkované emise CO_2 na naší planetě je přechod na bez emisní zdroje takřka nutností, avšak aby tento přechod byl úspěšný musí být jasně a rozumně promyšlen v delším časovém horizontu. Dle mého názoru je do budoucna nejdůležitější řídit se hlavně rady opravdových odborníků. Tato obecně sepsaná práce by mohla být v budoucnu rozvinuta o podrobnější pohled na recyklaci starých turbín větrných elektráren a fotovoltaických panelů.

Použitá literatura:

- [1] ČEPS. *Lanová dráha na Sněžku* [online]. 2017 [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/zajimavosti/#lanova-draha-na-snezku>
- [2] *Distribuční síť: Technické informace* [online]. [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/cs/distribucni-sit/technicke-informace/>
- [3] PROCHÁZKA, Radek. *Druhy elektrického silnoproudého rozvodu* [online]. 2017 [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/4035-druhy-elektrickeho-silnoproudeho-rozvodu>
- [4] MUDRŇKOVÁ, Anna. *Elektroenergetika 1: Elektrické sítě a vodiče*. 2016. ISBN 978-80-88058-81-6. Dostupné také z: <https://publi.cz/books/260/Impresum.html>
- [5] BOBŮRKOVÁ, Eva. *Bezpečnější krajina pro ptáky* [online]. [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2016/cislo-6/bezpecnejsi-krajina-pro-ptaky.html#&gid=1&pid=1>
- [6] E.ON. *Přenosová a distribuční soustava - 5. část: Transformační a spínací stanice, vedení nízkého napětí (NN)* [online]. [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <https://www.eon-distribuce.cz/clanek/prenosova-distribucni-soustava-5-cast>
- [7] PONCAROVÁ, Jana. *Na zelenou elektřinu přispívá každý. Průměrná domácnost zaplatí kolem 840 korun ročně* [online]. 2019 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/519164-zelena-elektrina/>
- [8] KOČ, Břetislav. *Světová inventura větrné energetiky v roce 2018* [online]. 2019 [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/19240-svetova-inventura-vetrne-energetiky-v-roce-2018>
- [9] *NATURE ECOLOGY & EVOLUTION: Wind farms have cascading impacts on ecosystems across trophic levels* [online]. 2018 [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: <https://docs.wind-watch.org/Thaker-India-raptors-lizards.pdf>
- [10] *The down side to wind power* [online]. 4.10.2018 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://news.harvard.edu/gazette/story/2018/10/large-scale-wind-power-has-its-down-side/>
- [11] *Největší sluneční elektrárna na světě je nyní v Kalifornii* [online]. 30.9.2013 [cit. 2019-12-19]. Dostupné z: <https://plus.rozhlas.cz/nejvetsi-slunecni-elektrarna-na-svete-je-nyni-v-kalifornii-6686776>
- [12] *Izrael staví v Negevské poušti nejvyšší solární věž na světě* [online]. 2.2.2017 [cit. 2019-12-20]. Dostupné z: https://www.denik.cz/ze_sveta/izrael-stavi-v-negevске-pousti-nejvyssi-solarni-vez-na-svete-20170202.html
- [13] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

- [14] ČEZ. *Pravidla provozování DS - 2019: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBY A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY* [online]. In: . 2018 [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/ppds-2019.html>
- [15] DOHNÁLEK, Petr. *Ochrany pro průmysl a energetiku*. Praha: SNTL, 1978. ISBN 80-03-00630-9
- [16] HODINKA, Miloslav; FECKO, Štefan; NĚMEČEK, František. *Přenos a rozvod elektrické energie*. Praha: SNTL, 1989. ISBN 80-03-00065-3.
- [17] STUDENÍK, Jiří a Michal SVITAVSKÝ. *Energie větru, vody, biomasy: Tok energie v biosféře* [online]. 2016 [cit. 2019-12-22]. ISBN 978-80-88058-08-3. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/Impresum.html>
- [18] *Distribuční soustava: Technická data* [online]. [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/distribucni-soustava/technicka-data.html>
- [19] *E.ON Distribuce: Technické informace o distribuční soustavě elektřiny* [online]. [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: <https://www.eon-distribuce.cz/technicke-informace-o-distribucni-soustave-elekriny>
- [20] *Elektrika: Zkratové proudy v instalacích nízkého napětí, základní veličiny, zjednodušený výpočet, dimenzování vedení a jisticích přístrojů* [online]. 2013 [cit. 2020-01-11]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/zkratove-proudy-v-instalacich-nizkeho-napeti-zakladni-veliciny-zjednoduseny-vypocet-dimenzovani-vedeni-a-jisticich-pristroju>
- [21] MASTNÝ, Petr, Lukáš RADIL a Jan MORÁVEK. *Vodní elektrárny* [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/images/stories/OPVK_ePower/BVEE/Ucebni_text_BVEE.pdf
- [22] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [23] ČESKÁ REPUBLIKA: *Zákon č. 165/2012 Sb. Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů*. 30.5.2012.